

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОДОВОЛЬЧИХ РЕСУРСІВ

NATIONAL ACADEMY OF AGRICULTURAL SCIENCES OF UKRAINE
INSTITUTE OF FOOD RESOURCES

ПРОДОВОЛЬЧІ РЕСУРСИ
ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

FOOD RESOURCES
COLLECTION OF SCIENTIFIC WORKS

Том 12 (2024), № 23

Kyiv – 2024

Рекомендовано до друку Вченою радою
Інституту продовольчих ресурсів НААН
24 грудня 2024 року (протокол № 11)

Засновник: Інститут продовольчих ресурсів НААН
Свідоцтво про державну реєстрацію – серія KB №19800-9600P від 29.03.2013

Збірник внесено до категорії Б Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата з *технічних* та *економічних* наук (наказ МОН від 17.03.2020 № 409).

Представлено публікації експериментальних, оглядових і методичних статей з питань наукового забезпечення розвитку харчової промисловості, біотехнології, зберігання та переробки продукції рослинництва і тваринництва, економіки агропромислового комплексу. Розглянуто актуальні теоретичні й практичні проблеми розвитку харчової промисловості України і перероблення сільськогосподарської сировини в умовах ринкових перетворень. Досліджено та узагальнено соціально-економічні, структурні, інноваційно-технологічні й екологічні аспекти діяльності харчової промисловості, її галузей і підгалузей в Україні та окремих регіонах. Запропоновано заходи щодо підвищення ефективності й конкурентоспроможності, вдосконалення науково-технічного і фінансового забезпечення розвитку харчової та переробної промисловості на вітчизняному й світовому ринках.

Для наукових працівників, спеціалістів, представників державних органів управління економікою.

Адреса редакційної колегії:
Інститут продовольчих ресурсів НААН
вул. Є.Сверстюка, 4-А, Київ, Україна, 02002
+38 (044) 517-17-16, iprinform@ukr.net

ISSN 2616-7204 print
ISSN 2616-809X online

© Інститут продовольчих ресурсів НААН, 2024

Редакційна колегія:

Хомічак Любомир Михайлович (головний редактор), д.т.н., професор, член-кореспондент НААН, Інститут продовольчих ресурсів НААН

Сичевський Микола Петрович (науковий редактор), д.е.н., професор, академік НААН, Національна академія аграрних наук України

Вербицький Сергій Борисович (відповідальний редактор), к.т.н., Інститут продовольчих ресурсів НААН

Баль-Прилипко Лариса Вацлавівна, д.т.н., професорка, Національний університет біоресурсів та природокористування України

Бісько Ніна Анатоліївна, д.б.н., професорка, Інститут ботаніки ім. М.Г. Холодного

Даниленко Світлана Григорівна, д.т.н., с.н.с, Інститут продовольчих ресурсів НААН

Дейнеко Людмила Вікторівна, д.е.н., професорка, Інститут економіки та прогнозування НАН України

Діброва Анатолій Дмитрович, д.е.н., професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України

Калетнік Григорій Миколайович, д.е.н., професор, академік НААН, Вінницький національний аграрний університет

Кваша Сергій Миколайович, д.е.н., професор, академік НААН, Національний університет біоресурсів і природокористування України

Коваленко Ольга Володимирівна, д.е.н., с.н.с., Інститут продовольчих ресурсів НААН

Ковбаса Володимир Миколайович, д.т.н., професор, Національний університет харчових технологій

Копилова Катерина В'ячеславівна, д.с.-г.н., с.н.с., Інститут розведення і генетики тварин імені М.В.Зубця

Кропивко Максим Михайлович, д.е.н., с.н.с., Національна академія аграрних наук України

Кузнецова Інга Вадимирівна, д.с.-г.н., с.н.с., Інститут продовольчих ресурсів НААН

Лузан Юрій Якович, д.е.н., професор, академік НААН, Інститут продовольчих ресурсів НААН

Лупенко Юрій Олексійович, д.е.н., професор, академік НААН, ННЦ «Інститут аграрної економіки НААН»

Маринченко Лоліта Вікторівна, к.б.н., доцентка, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Науменко Оксана Василівна, д.т.н., с.н.с, Інститут продовольчих ресурсів НААН

Олійнічук Сергій Тимофійович, д.т.н., с.н.с, Інститут продовольчих ресурсів НААН

Павлов Олександр Іванович, д.е.н., професор, Одеський національний технологічний університет

Поліщук Галина Євгеніївна, д.т.н., професорка, Національний університет харчових технологій

Романчук Ірина Олегівна, д.т.н., с.н.с., Інститут продовольчих ресурсів НААН

Sabovics Martins (Латвія), Dr.sc.ing, Латвійський університет сільського господарства

Jadal Shankaraswamy (Індія), PhD, Теланганський університет садівництва імені Шрі Конди Лаксмана

ЗМІСТ

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

- 1 **BIODEGRADABLE FOOD PACKAGING: INSTITUTIONAL AND SOCIAL ASPECTS**
[БІОРОЗКЛАДНІ ПАКОВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ: ІНСТИТУЦІЙНІ ТА СОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ]
Sergii Verbytskyi, Sandra Muižniece-Brasava, Antonina Minorova, Nataliia Patsera, Olha Kozachenko, Liana Nedorizaniuk
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-01> 8
- 2 **ВИКОРИСТАННЯ ГРИБІВ ШИЇТАКЕ (*LENTINULA EDODES*) В ПЕРШІЙ СТРАВІ ШВИДКОГО ПРИГОТУВАННЯ ДЛЯ ПОТРЕБ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ**
*[USING OF SHIITAKE MUSHROOMS (*LENTINULA EDODES*) IN THE FAST-COOKING FIRST DISH FOR THE NEEDS OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE]*
Бахлукова К. В., Великанов О. О.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-02> 16
- 3 **МОРОЗИВО З ЯГІДНО-ОВОЧЕВИМ НАПОВНЮВАЧЕМ**
[ICE CREAM WITH BERRY AND VEGETABLE FILLER]
Берник І. М., Руденко І. А., Новгородська Н. В., Овсієнко С. М., Колісніченко А. Р., Дідик Т. В.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-03> 24
- 4 **ІННОВАЦІЙНІ РІШЕННЯ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ БОРОШНЯНИХ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВ**
[INNOVATIVE WAYS TO IMPROVE NUTRITIVE VALUE OF FLOUR CONFECTIONERY PRODUCTS]
Гетьман І. А., Науменко О. В., Бовкун А. О., Лук'янчук І. В.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-04> 36
- 5 **ДОСЛІДЖЕННЯ КАВІТАЦІЙНОГО ВПЛИВУ НА ПРОЦЕСИ ОБРОБКИ СУМІШЕЙ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ І ЗЕРНОБОБОВИХ КУЛЬТУР**
[RESEARCH OF CAVITATION INFLUENCE ON THE PROCESSING OF MIXTURES OF OILY AND CEREAL LEGUME SEEDS]
Гоженко Л. П., Іваницький Г. К., Целень Б. Я., Радченко Н. Л., Недбайло А. Є., Щепкін В. І., Шуляк В. В.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-05> 47
- 6 **ДЕЯКІ АСПЕКТИ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ СПИРТОВИХ ВИРОБНИЦТВ В СУЧАСНИХ УМОВАХ ТА РОЗШИРЕННЯ СИРОВИННОЇ БАЗИ**
[SOME ASPECTS OF THE ECOLOGIZATION OF ALCOHOL INDUSTRIES IN MODERN CONDITIONS AND EXPANSION OF THE RAW MATERIAL BASE]
Грушецький Р. І., Данілова К. О., Гріненко І. Г.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-06> 55
- 7 **СКРИНІНГ ШТАМІВ *TRAMETES VERSICOLOR* ЯК ПОТЕНЦІЙНИХ ПРОДУЦЕНТІВ ПЕКТИНМЕТИЛЕСТЕРАЗИ**
*[SCREENING OF *TRAMETES VERSICOLOR* STRAINS AS POTENTIAL PRODUCERS OF PECTIN METHYLESTERASE]*
Зубик П. Р., Клечак І. Р.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-07> 66

-
- 8 **ОСОБЛИВОСТІ МЕХАНІЗМУ УТВОРЕННЯ КРОТОНОВОГО АЛЬДЕГІДУ В СПИРТОВОМУ ЗБРОДЖУВАННІ КРОХМАЛЕВМІСНОЇ СИРОВИНИ**
[PECULIARITIES OF CROTON ALDEHYDE FORMATION MECHANISM IN THE ETHANOL FERMENTATION OF STARCH-CONTAINING RAW MATERIALS]
Коваль О. О., Олійнічук С. Т.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-08> 74
- 9 **БОРОШНОМЕЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТУ**
[FLOUR PROPERTIES OF SOFT WINTER WHEAT DEPENDING ON THE VARIETY]
Костецька К. В., Герасимчук О. П., Соловей В. О.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-09> 85
- 10 **БІОТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПЕРЕРОБКИ БУРЯКОВОГО ЖОМУ НА БІОЕТАНОЛ**
[BIOTECHNOLOGICAL ASPECTS OF PROCESSING BEET PULP INTO BIOETHANOL]
Кузнєцова І. В., Хомічак В. Л.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-10> 91
- 11 **ОТРИМАННЯ ІНКАПСУЛЬОВАНОГО КРОХМАЛЮ**
[OBTAINING MICROCAPSULATED STARCH]
Кузнєцова І. В., Касамара А. С.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-11> 98
- 12 **ВПЛИВ КЛІТКОВИНИ КАРТОПЛІ НА РЕОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТІСТА ТА ЯКІСТЬ СОРГОВОГО ХЛІБА НА РИСОВІЙ ЗАКВАСЦІ**
[EFFECT OF POTATO FIBER ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF DOUGH AND QUALITY OF SORGHUM BREAD WITH RICE SOURDOUGH]
Ланська В. Д., Гетьман І. А.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-12> 104
- 13 **АСЕПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРИРОДНИХ МІНЕРАЛІВ**
[ASEPTIC PROPERTIES OF NATURAL MINERALS]
Мельник Н. А., Мельник Л. М., Ткачук Ю. В., Якименко А. В.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-13> 112
- 14 **ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ФІЗІОЛОГІЧНА ДІЯ КОФЕЇНУ ТА ВИВЧЕННЯ СТИМУЛОВАЛЬНОГО ВПЛИВУ КАВИ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ**
[CHEMICAL PROPERTIES AND PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF CAFFEINE AND THE STUDY OF THE STIMULATING EFFECT OF COFFEE ON THE HUMAN BODY]
Морозова Л. П.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-14> 119
- 15 **ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ НА ВИХІД ТЕРМОКИСЛОТНОЇ СИРНОЇ МАСИ**
[INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS ON THE YIELD OF THERMO-ACID CHEESE MASS]
Орлюк Ю. Т.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-15> 131
- 16 **ОСОБЛИВОСТІ ЕКСТРАКЦІЇ ГІПЕРФОРИНУ ІЗ ТРАВИ ЗВІРОБОЮ ЗВИЧАЙНОГО (HYPERICUM PERFORATUM L.)**
[FEATURES OF THE EXTRACTION OF HYPERFORIN FROM THE SAINT-JOHN'S WORT HERBS (HYPERICUM PERFORATUM L.)]
Поштаренко А. В., Супрунюк М. В., Решетняк Л. Р., Данілова К. О.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-16> 139
-

-
- 17 **ДОСЛІДЖЕННЯ СЕЗОННИХ ЗМІН БІЛКОВОГО СКЛАДУ
КОРОВ'ЯЧОГО МОЛОКА-СИРОВИНИ**
[RESEARCH OF SEASONAL CHANGES IN THE PROTEIN COMPOSITION OF RAW MILK]
Романчук І. О., Боднарчук О. В., Білуха Г. М.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-17> 145
- 18 **ПРОВЕДЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ВИКИДІВ САТУРАЦІЙНОГО ГАЗУ
ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ З ВСТАНОВЛЕННЯМ ГРАНИЧНО-ДОПУСТИМИХ
НОРМ ОКСИДУ І ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ**
[CONDUCTING AN ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE SUGAR PLANT'S
SATURATION GAS EMISSIONS WITH THE ESTABLISHMENT OF MAXIMUM
PERMISSIBLE STANDARDS FOR CARBON MONOXIDE AND DIOXIDE]
*Ткаченко С. В., Хомічак Л. М., Заровний В. М., Шейко Т. В., Штангеев К. О.,
Скорик К. Д., Букишина Л. С.*
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-18> 152
- 19 **ОХМЕЛЕНЕ СУСЛО ЯК СУБСТРАТ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ МОЛОЧНОКИСЛИХ
БАКТЕРІЙ ЯК ПОТЕНЦІЙНИХ ПІДКИСЛЮВАЧІВ**
[HOPPED WORT AS A SUBSTRATE FOR THE CULTIVATION OF LACTIC ACID BACTERIA
AS POTENTIAL ACIDIFYING AGENTS]
Хабленко А. Д., Даниленко С. Г., Дуган О. М.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-19> 167
- 20 **ГІДРОЛІЗ КРОХМАЛЮ ТА ЗБРОДЖУВАННЯ ЦУКРІВ АСОЦІАЦІЄЮ
МІКРОБНИХ КУЛЬТУР ASPERGILLUS AWAMORI ТА SACCHAROMYCES
CEREVISIAE У ВИРОБНИЦТВІ БІОЕТАНОЛЮ**
[STARCH HYDROLYSIS AND FERMENTATION OF SUGARS BY THE ASSOCIATION OF
ASPERGILLUS AWAMORI AND SACCHAROMYCES CEREVISIAE MICROBIAL CULTURES
IN BIOETHANOL PRODUCTION]
Хомічак Л. М., Олійнічук О. С.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-20> 175
- 21 **ІНВЕРТНИЙ СИРОП ДЛЯ ПІДГОДІВЛІ БДЖІЛ**
[INVERT SYRUP FOR FEEDING BEES]
*Хомічак Л. М., Джоган О. І., Кузнєцова І. В., Зайчук Л. П., Ткаченко С. В.,
Грінченко І. Г.*
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-21> 182
- 22 **ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВОДОПІДГОТОВКИ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ СОКІВ ЗА
ДОПОМОГОЮ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ КАВІТАЦІЇ**
[OPTIMIZATION OF THE WATER TREATMENT PROCESS FOR JUICE RECOVERY USING
HYDRODYNAMIC CAVITATION]
Цельєв Б. Я., Ободович О. М., Недбайло А. Є., Гоженко Л. П., Радченко Н. Л.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-22> 189
- 23 **КОМБУЧА – ФЕРМЕНТОВАНИЙ НАПІЙ НА ОСНОВІ ЧАЮ ЯК
КОМПОНЕНТ ОЗДОРОВЧОГО ХАРЧУВАННЯ**
[KOMBUCHA – A FERMENTED BEVERAGE BASED ON TEA AS
A COMPONENT OF HEALTHY NUTRITION]
Челябієва В. М.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-23> 199
- 24 **РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ПИВОВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА
В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВOSTІ**
[RATIONAL USE OF WASTE OF BREWERY PRODUCTION IN THE FOOD INDUSTRY]
Чепурна О. Л., Штонда О. А.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-24> 207
-

- 25 **БЕЗПЕЧНІСТЬ І ЯКІСТЬ СИРУ: ФАГИ МОЛОЧНОКИСЛИХ БАКТЕРІЙ**
[CHEESE SAFETY AND QUALITY: PHAGES OF LACTIC ACID BACTERIA]
Шукай М. О.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-25> 214

- ЕКОНОМІЧНІ НАУКИ**

- 26 **BASIC INSTITUTIONAL AND TECHNOLOGICAL FACTORS OF FOOD SECURITY**
[ОСНОВНІ ІНСТИТУЦІЙНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ]
Anatolii Yuzefovich, Sergii Verbytskyi, Yaroslav Rybak, Nataliia Patsera, Liudmyla Bratchuk
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-26> 224

- 27 **ВПЛИВ СИСТЕМНИХ ЗМІН В ЕКОНОМІЦІ УКРАЇНИ НА ФОРМУВАННЯ АГРОПРОДОВОЛЬЧИХ ЛАНЦЮГІВ СТВОРЕННЯ ВАРТОСТІ**
[THE IMPACT OF SYSTEMIC CHANGES IN THE ECONOMY OF UKRAINE ON THE FORMATION OF FOOD CHAINS OF VALUE CREATION]
Бокій О. В.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-27> 233

- 28 **ПЕРВИННЕ ВИРОБНИЦТВО У ДОВОЄННИЙ ПЕРІОД І НА ЕТАПІ ВОЄННОГО СТАНУ В УКРАЇНІ**
[PRIMARY PRODUCTION IN THE PRE-WAR PERIOD AND AT THE STAGE OF MARTIAL LAW IN UKRAINE]
Варченко О. М., Крисанов Д. Ф., Герасименко І. О., Ткаченко К. В., Варченко О. О., Тур О. В.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-28> 246

- 29 **ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНВЕСТИЦІЙ В ІННОВАЦІЙНУ МОДЕРНІЗАЦІЮ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ДЛЯ СПРІЯННЯ СТАЛОМУ РОЗВИТКУ УКРАЇНИ**
[EFFICIENCY OF INVESTMENTS IN INNOVATIVE MODERNIZATION OF THE FOOD INDUSTRY TO PROMOTE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF UKRAINE]
Коваленко О. В.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-29> 264

- 30 **БЕНЧМАРКІНГ ПЕРЕДОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ**
[BENCHMARKING OF ADVANCED PRODUCTION TECHNOLOGIES OF THE FOOD INDUSTRY]
Лесных Ю. В., Івасів В. В.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-30> 279

- 31 **ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОГРАМ І ЗАХОДІВ ПІДТРИМКИ ВИРОБНИКІВ М'ЯСА ТА М'ЯСНИХ ПРОДУКТІВ В УКРАЇНІ**
[EFFECTIVENESS OF PROGRAMS AND MEASURES TO SUPPORT MEAT AND MEAT PRODUCTS MANUFACTURERS IN UKRAINE]
Лисенко Г. П.
<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-31> 290

ТЕХНІЧНІ НАУКИ

UDC 664:67.02

BIODEGRADABLE FOOD PACKAGING: INSTITUTIONAL AND SOCIAL ASPECTS

Seraii Verbytskyi¹, PhD, Engineerina. Head of Department of Informational Support, Innovative Providina. Standardization and Metroloav
<https://orcid.org/0000-0002-4211-3789>

Sandra Muižniece-Brasava², D-r of Sc., Engineerina. Professor
<https://orcid.org/0000-0001-6033-6241>

Antonina Minorova¹, PhD, Engineerina. Head of Department of Dairv Products and Babv Food Products
<https://orcid.org/0000-0002-7557-1444>

Nataliia Patsera¹, Deputy Head of Department of Informational Support, Innovative Providina. Standardization and Metroloav
<https://orcid.org/0000-0001-8737-9997>

Olha Kozachenko¹, Chief Specialist of Department of Informational Support, Innovative Providina. Standardization and Metroloav
<https://orcid.org/0000-0002-2189-9583>

Liana Nedorizaniuk¹, Researcher, Department of Technoloav of Meat Products
<https://orcid.org/0000-0002-2190-5648>

¹Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

²Latvia University of Live Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-01>

Subject. Consumers' attitudes to the use of biodegradable food packaging materials as an alternative to conventional plastics, focusing on institutional and social aspects, including environmental challenges, consumer benefits, and barriers to adoption. Challenges of the environmental impact of traditional plastic packaging and the possibility of replacing it with biodegradable materials made from organic raw materials to reduce the environmental burden are studied. **Purpose.** To analyze consumer willingness to buy products in biodegradable packaging, in particular to assess the factors influencing their choice and to identify the barriers that hinder wider use of such materials. **Methods.** A non-representative online survey of respondents of all ages was conducted. The methods of systematization, comparative analysis, and graphical methods of data visualization were used. **Results.** High consumer awareness of biodegradable packaging (89.5%) and a positive attitude towards its use were revealed. However, despite the willingness to pay more, the majority are ready to pay a small surcharge (up to 10%). The main barriers include high price, limited range and lack of information. The survey also revealed support for changes in legislation to stimulate the wider use of biodegradable packaging. **Scope of results:** The results can be used by food manufacturers to make decisions on the transition to biodegradable packaging, as well as by regulators to formulate policies and develop appropriate programs to stimulate the use of such packaging in food industry practices and for information campaigns to raise consumer awareness.

Key words: food products, packaging, biodegradable packaging, food consumers, purchase threshold

БІОРОЗКЛАДНІ ПАКОВАННЯ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ: ІНСТИТУЦІЙНІ ТА СОЦІАЛЬНІ АСПЕКТИ

Вербицький С. Б.¹, к.т.н., завідувач відділу інформаційного забезпечення, інноваційного провайдингу, стандартизації та метрології
<https://orcid.org/0000-0002-4211-3789>

Муйжніє-Брасава С.², д.т.н., проф.
<https://orcid.org/0000-0001-6033-6241>

Мінова А. В.¹, к.т.н., завідувачка відділу молочних продуктів та продуктів дитячого харчування
<https://orcid.org/0000-0002-7557-1444>

Пацера Н. М.¹, заст. завідувача відділу інформаційного забезпечення, інноваційного провайдингу, стандартизації та метрології

<https://orcid.org/0000-0001-8737-9997>

Козаченко О. Б.¹, гол. фах. відділу інформаційного забезпечення,
інноваційного провайдингу, стандартизації та метрології
<https://orcid.org/0000-0002-2189-9583>

Недорізанюк Л. П.¹, н.с. відділу технології м'ясних продуктів
<https://orcid.org/0000-0002-2190-5648>

¹Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна

²Латвійський університет наук про життя та технології, Єлгава, Латвія

DOI

Предмет. Ставлення споживачів до використання біорозкладних пакувальних матеріалів для харчових продуктів як альтернативи традиційним полімерним матеріалам, з фокусом на інституційні та соціальні аспекти, включаючи екологічні виклики, споживчі переваги та бар'єри щодо впровадження. Виходячи з впливу традиційних пластикових пакувань на довкілля, оцінено можливість їхньої заміни біорозкладними матеріалами, що виготовляються з органічної сировини, для зменшення екологічного навантаження. **Мета.** Аналіз готовності споживачів купувати продукти у біорозкладних пакуваннях, зокрема оцінка факторів, що впливають на їх вибір, та виявлення бар'єрів, які стримують ширше застосування таких матеріалів. **Методи.** Проведено не репрезентативне онлайн-опитування респондентів різного віку. Використано методи систематизації, порівняльний аналіз, а також графічні методи для візуалізації даних. **Результати.** Виявлено високу обізнаність споживачів щодо біорозкладного пакування (89,5%), а також позитивне ставлення до його використання. Проте, попри готовність платити більше, більшість готова до незначної доплати (до 10%). Серед основних бар'єрів зазначено високу ціну, обмежений асортимент та недостатню інформованість. Опитування також виявило підтримку змін у законодавстві щодо стимулювання ширшого використання біорозкладних пакувань. **Сфера застосування результатів.** Результати можуть бути використані виробниками харчових продуктів для прийняття рішень щодо переходу на біорозкладне пакування, а також регуляторними органами для формування політики та розроблення відповідних програм щодо стимулювання використання таких пакувань у практиці харчової промисловості, а також для інформаційних кампаній із підвищення обізнаності споживачів.

Ключові слова: харчові продукти, пакування, біорозкладні пакування, споживачі харчових продуктів, поріг купівлі

Problem statement. With the growth of global environmental challenges, more and more attention is paid to the issues of sustainable development and reduction of the plastic burden upon environment. An important element of this problem is food packaging made of polymeric materials that are not biodegradable and, therefore, have the said negative impact. Pollution of the planet forces to look for opportunities to preserve and sustainably use natural resources using renewable raw materials. This is due to the large volume of energy, resources and water required to process petroleum polymer waste generated in the agro-industrial complex. Most of this waste is thrown into landfills, which increase in size and quantity in accordance with population growth every year, which, in turn, causes pollution of aquifers with filtrates, and also causes emissions of greenhouse gases into the atmosphere [1].

An alternative to traditional hydrocarbon-based packaging materials are biodegradable packaging materials, usually made from organic renewable raw materials. The use of these materials in the food industry helps reducing the environmental impact for several obvious reasons. First, it minimizes the use of fossil mineral raw materials. Second, it reduces emissions of polluting gases. Third, it ensures the proper cyclicity of the use of renewable raw materials [2–4].

Biodegradable packaging, despite a number of known disadvantages (high cost, inadequate barrier properties, insufficient mechanical strength, etc.), is a promising alternative that allows reducing the amount of plastic that does not decompose and accumulates in nature. Biopolymers are usually used as raw materials for biodegradable packaging. Biopolymers are macromolecules formed by functional units produced by various organisms directly or as secondary products. Biopolymers or bioplastics are all plastics that are produced from biological raw materials or are

biodegradable. Thus, there are polymers that can be biodegradable and compostable depending on the chemical properties of their components [1, 5–9]. Biodegradable materials used for food packaging are made from proteins, both plant (soy, corn, wheat, peas, etc.) and animal (casein, collagen, whey, keratin, gelatin, etc.) [10–13]. Mainly such bioplastics as polylactides PLAs, polyesters such as polyhydroxyalkanoates PHAs and other polyesters, thermoplastic starches are formed [1,14,15].

Environmental awareness of the population and global initiatives to reduce plastic waste are driving the demand for biodegradable food packaging. Consumer attitudes towards biodegradable packaging are gradually changing towards greater support. The average consumer has been realizing the need to support environmental solutions, but for a complete transformation of the food packaging market, it is necessary to raise public awareness of the benefits of using biodegradable packaging, and, most importantly, the acceptable cost of food products packaged with such packaging.

Biodegradable food packaging is expected to reduce environmental problems throughout the entire life cycle, and not just after disposal, compared to the life cycle of petrochemical food packaging materials. Food packaging materials should easily return to the soil from an environmental point of view [16].

Analysis of recent studies and publications. Biodegradable packaging is receiving increasing attention from scientists and manufacturers as a way to reduce environmental pollution in non-degradable polymeric wastes. The problem is whether consumers are willing to properly perceive the need to make their small daily contribution to solving the urgent environmental problems of the planet by spending large amounts of money on purchasing food products in biodegradable packaging. The relevance of this topic is evidenced by numerous scientific papers published in recent years – for example, [17–21].

Research conducted in Latvia showed that in 2017, a significant proportion of consumers were already aware of the importance of environmental responsibility, although their willingness to overpay for environmentally friendly packaging remained limited [22]. Similar trends are observed in Ukraine, where consumers, although they support environmental initiatives, often face economic and informational barriers.

Around the world, the growing popularity of organic food products is partly based on people's positive perception of them. The concept of "organic food" is perceived by consumers in the understanding that this food is healthy. But when we start to say the same words in relation to packaging, the consumer has many doubts that such food is safe. This is due to the fact that the safety of the packaging is critical, since it can affect the quality and safety of products during transportation and storage [23]

Appropriate packaging can extend the shelf life of products, reducing food waste, but consumer perceptions can be doubtful. Some consumers believe that excess packaging is harmful, even if it helps preserve food. Manufacturers are encouraged to raise consumer awareness of the benefits of innovative packaging approaches that reduce food waste [24].

From a societal perspective, consumers are increasingly looking for eco-friendly products, in particular biodegradable packaging, that meet their expectations for safety and sustainability. Institutional aspects are also becoming more important: governments and regulators are introducing policies to support biodegradable materials and reduce the reliance on fossil resources for packaging, which is important for achieving sustainable development goals and reducing carbon footprints [25].

Many manufacturers are aware of the importance of switching to eco-friendly packaging. This is especially true for large companies that have sufficient resources to invest in biodegradable materials. However, the main limiting factor is the high cost of such materials compared to traditional plastic. For small and medium-sized enterprises, this may be a barrier to widespread adoption. At the same time, the adoption of new environmental standards in the

legislation, such as the ban on single-use plastic bags, is pushing manufacturers to look for environmental solutions.

One of the main challenges is the cost of biodegradable materials, which remains high due to more expensive production technologies. It is also important to consider that some bioplastics require special conditions (temperature, humidity) for complete decomposition, which are often not available at solid waste landfills.

Replacing traditional packaging with biodegradable materials in the food industry is a promising procedure that has its roots in the distant past. The potential of natural materials for various applications in the field of product recycling cannot be underestimated. food, natural biopolymers or their mixtures can help preserve food from spoilage.

Research objective. In this paper, the study of the institutional and social aspects associated with the use and purchase of food products packaged in biodegradable materials is characterized.

Materials and methods. To analyze the attitude of consumers to biodegradable packaging, researchers of the Institute of Food Resources of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine conducted a non-representative online survey. Respondents of different ages took part in it. To evaluate the results and fulfill the set tasks and achieve the goal of the study, a set of approaches and principles of general theoretical and specialized methods of scientific research were used. For the theoretical part, the methods of systematization and generalization, comparative methods were used. Graphic charts were used to visualize the research methods and results.

Presentation of the main research results. To understand the main driving forces behind the adoption of a new packaging concept, it is important to assess what consumers currently think about this issue. We conducted a non-representative study on the awareness and attitude of the consumers to biodegradable packaging.

The vast majority of respondents, namely 89.5% of all respondents, are already familiar with biodegradable packaging. This indicates a growing awareness and interest in society regarding environmental alternatives in packaging materials (Fig. 1).

Overall, respondents expressed a “positive” 29% or even a “very positive” – 57.5% attitude towards the use of biodegradable packaging. This may be due to an understanding of its impact on the environment and health. This attitude towards environmental solutions indicates a growing interest in preserving nature, especially among people who actively pay attention to environmental issues (Fig. 2).

Have you heard about biodegradable packaging for food products before?

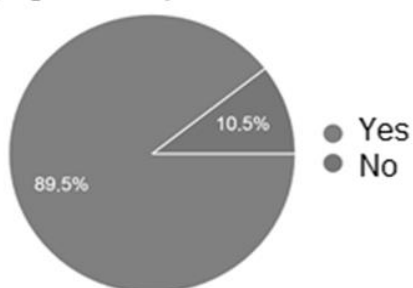


Fig. 1. Public awareness of biodegradable food packaging

What is your attitude towards the use of biodegradable packaging?

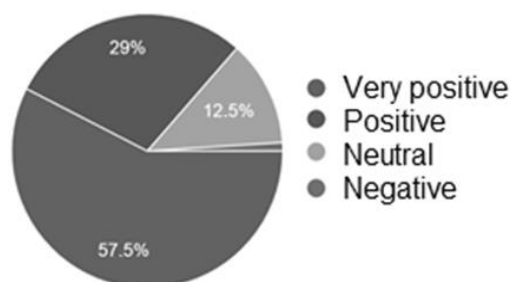


Fig. 2. Attitude to use

Although 97.5% of respondents are willing to pay more for products in biodegradable packaging, the surcharge limit is quite low. The majority, namely 60.5% of respondents, are willing to pay only up to 10%. This indicates a limited willingness to make significant

expenditures on eco-friendly materials and the impact of price as a barrier for consumers (Fig. 3).

Are you willing to pay more for products packaged in biodegradable materials?

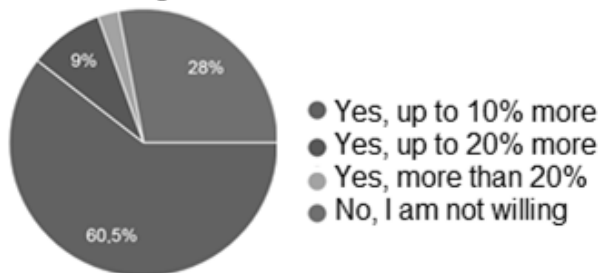


Fig. 3. Willingness to pay more

When choosing products in biodegradable packaging, respondents identified several key factors. The most important of these are the possibility of further recycling, reducing the impact on the environment, and the safety of the packaging for health. These criteria indicate that consumers want to see eco-packaging not only as environmentally friendly, but also as safe and practical to use. (Fig. 4).

Which of the following factors are most important to you when choosing products with biodegradable packaging? (You can select multiple options)

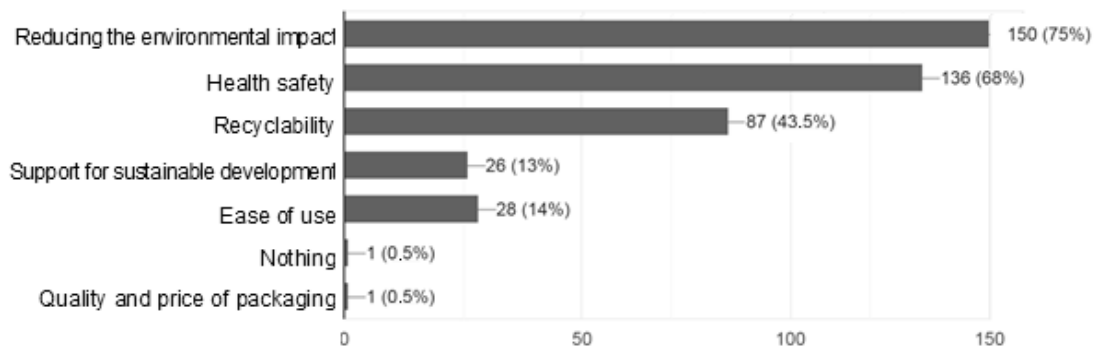


Fig. 4. Choice factors

The majority of respondents confirmed that the presence of biodegradability information on the label has a positive impact on their decision to buy products in such packaging (Figure 5). This shows how important it is to provide consumers with accessible and understandable information at the label level, which can influence their choice.

The majority of respondents noted that they rarely encounter products in biodegradable packaging. This indicates a limited range of such products in most retail chains or insufficient information about the availability of such products (Figure 6).

Does the presence of information about this on the label influence your decision to buy products in biodegradable packaging?

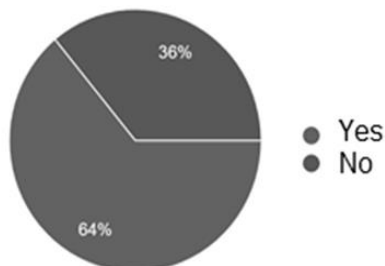


Fig. 5. The impact of information on the label

How often do you come across products packaged in biodegradable materials?

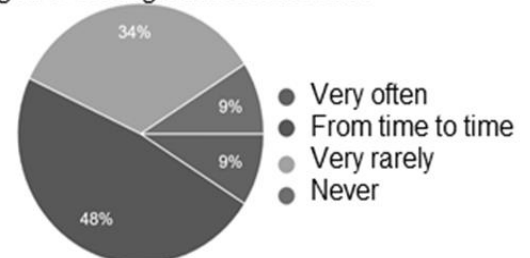


Fig. 6. Frequency of encounters with biodegradable packaging

Among the factors that motivate respondents to purchase, the most frequently mentioned were a larger range of products in biodegradable packaging, detailed information about the

benefits for the environment and an explanation of the health benefits. This indicates consumers' interest in making conscious choices and striving for more eco-friendly products in stores (Fig. 7).

What information could additionally attract you to buy products in biodegradable packaging?



Fig. 7. Additional information for stimulation

Respondents consider the high price, limited choice of products and lack of awareness to be the main barriers. These obstacles reflect the main challenges preventing sustainable packaging from becoming mainstream. Especially important are the issues of price and information, which can be solved through

support from producers and the state (Fig. 8).

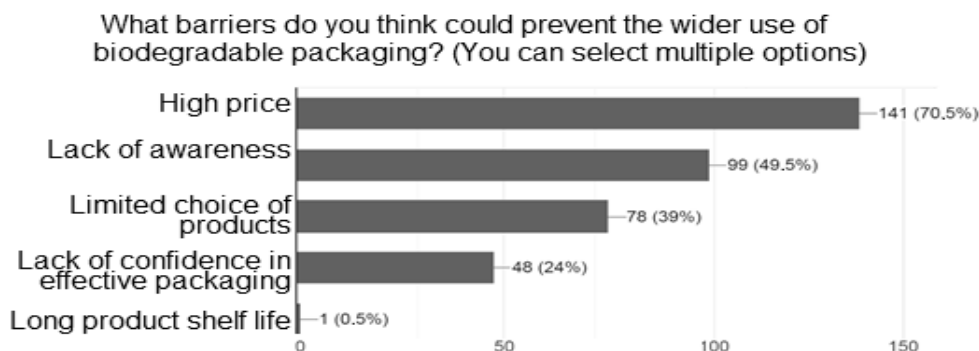


Fig. 8. Barriers to wider use

A significant part of the respondents expressed support for legislative incentives for the wider use of biodegradable packaging in the food industry. This shows the understanding of the importance of state support for environmental initiatives and the desire of citizens to see more products on the market with packaging that does not harm the environment (Fig. 9).

The survey participants were mostly middle-aged and older people who mainly buy products in supermarkets (Fig. 10). This indicates that it is precisely in such retail outlets that a wider range of products with biodegradable packaging should be presented in order to attract the attention of the main consumer group (Fig. 11).

Do you support the idea of legislative incentives for the use of biodegradable packaging in the food industry?

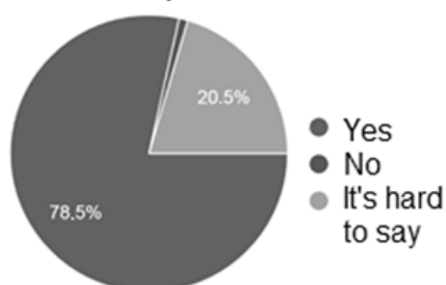


Fig. 9. Support for legislative incentives

How old are you?

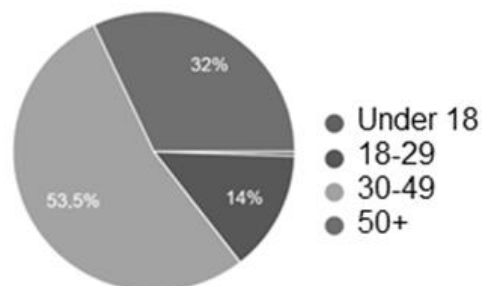


Fig. 10. Age of respondents

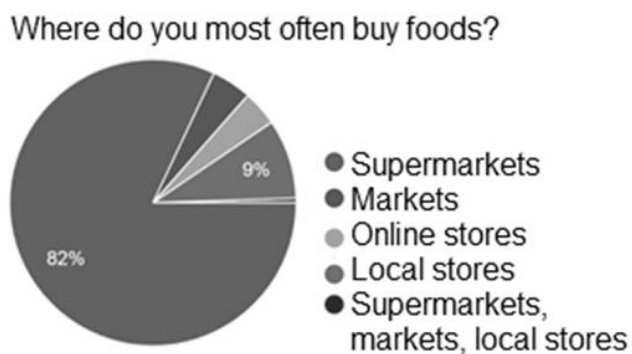


Fig. 11. Purchase locations

Conclusion. Demand for biodegradable packaging is growing, especially among environmentally conscious consumers. Manufacturers understand the importance of switching to more environmentally friendly solutions, but require government support and further technological development to make biodegradable packaging cost-effective for mass adoption.

The results of our study showed that, according to consumers, food packaging should correspond to the environmental qualities of the products it contains.

Biodegradable packaging is becoming increasingly relevant in the context of environmental challenges. Both Ukrainian and Latvian consumers support its use, but economic incentives and awareness are needed for mass adoption. Government support in the form of legislative initiatives, as well as information campaigns, should promote the spread of biodegradable materials as an effective alternative to traditional plastic.

The survey results show that participants expressed interest in a wider range of biodegradable packaging and information on environmental and health benefits, which may increase their willingness to purchase such products. The main barriers are high price, limited choice of products with biodegradable packaging, and insufficient consumer awareness of their benefits. Most respondents support the idea of legislative incentives for the use of biodegradable packaging, which highlights public support for environmental initiatives in the food industry.

Funding. The research was funded within the framework of the joint Ukrainian-Latvian scientific project "Enhanced use of environment friendly biodegradable packages for dairy products (BIOPACK Dairy)" in accordance with the order of the Ministry of Education and Science of Ukraine dated 15.03.2024 "On Financing Joint Ukrainian-Latvian Research Projects in 2024".

References

1. Cornejo Reyes, G. V., Marinero Orantes, E. A., Funes Guadrón, C. R., Toruño, P. J., Zúniga-González, C. A. (2020). Biopolímeros para uso agro industrial: Alternativa sostenible para la elaboración de una película de almidón termo plástico biodegradable. *Revista Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 11 (6), <https://doi.org/10.5377/ribcc.v6i11.9824>.
2. Kirse-Ozolins, A., Muizniece-Brasava, S., Veipa, J. (2019). Effect of various packaging solutions on the quality of hazelnuts in nut-dried fruit mixes. *FoodBalt 2019: 13th Baltic conference on food science and technology "Food. Nutrition. Well-Being": conference proceedings*, 216–221. <https://doi.org/10.22616/FoodBalt.2019.007>.
3. Augšpole, I., Sivicka, I., Muizniece-Brasava, S. (2023). Physicochemical Quality Evaluation of Fresh-Cut Rosemary (L.) Packed and Stored in Biodegradable Film. *Rural Sustainability Research*, 49 (344), 66–72. <https://doi.org/10.2478/plua-2023-0009>.
4. Muizniece-Brasava, S., Verbytskyi, S., Kuts, O., Minorova, A., Patsera, N., Kozachenko, O., Nedorizanyuk, L. Overview of the current state of scientific research and practical access in the areas of biological dairy packaging. *Food Resources*. 2023. № 11 (21). P. 9–23. <https://doi.org/10.31073/foodresources2023-21-01>.
5. Song, J. H., Murphy, P. J., Narayan, R., Davies, H. B. (2009). Biodegradable and compostable alternative to plastic (en línea). Brunel University. Imperial College London. Michigan State of University. *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 364, P. 2127–2139.
6. Song, J., Kay, M., Coles, R. (2011). Bioplastics. Brunel University London. Chapter 11. P. 295–319. <https://doi.org/10.1002/9781444392180.ch11>.

7. Pramanik, P., Mina, U., Sharma, N. (2015). Bioplastic: Sustainable Green plastic New Dheli, India. P. 3.
8. Vásquez, A. (2016). Análisis tecnológicos y prospectivos sectoriales: Petroquímica y plásticos. Argentina. P. 67. Disponible en <http://www.mincyt.gob.ar/adjuntos/archivos/000/047/0000047524.pdf> Consultado 31.10.2024.
9. Offiong, E. U., Ayodele, S. L. (2016). Preparation and characterization of thermoplastic starch from sweet potato. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Vol. 7. P. 6.
10. Bunea, M. (2017). Studiul materialelor plastice biodegradabile pentru ambalarea produselor alimentare. Conferința științifică internațională „Perspectivele și Problemele Integrării în Spațiul European al Cercetării și Educației”, Universitatea de Stat „B.P. Hasdeu” din Cahul, 7 iunie, I, 317–321.
11. de Moraes Crizel, T, Haas Costa, T. M., de Oliveira Rios, A., Hickmann Flores, S. (2016). Valorization of food-grade industrial waste in the obtaining active biodegradable films for packaging, *Industrial Crops and Products*, 87, 218–228. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.039>.
12. Kopylova, K., Verbytskyi, S., Kozachenko, O., Verbova, O. (2019). Osnovni zasady suchasnoho biolohichnoho pakuvannia molochnykh produktiv [Principal basics of advanced biopackaging of dairy products]. *Food Resources*, 7 (13), 69–86. <https://doi.org/10.31073/foodresources2019-13-07> [In Ukrainian].
15. Santiago, M. (2015). Elaboración y caracterización de películas biodegradables obtenidas con almidón nanoestructurado. Universidad Veracruzana. Xalapa de Enríquez, Veracruz, México, 119.
14. Kopylova, K., Verbytskyi, S., Kos, T. Verbova, O., Kozachenko, O., Patsera, N. (2020). Scientific bases of standardization of requirements for ecological packaging of food products. *Food Resources*, 15, 114–123. <https://doi.org/10.31073/foodresources2020-15-12>.
16. Menglei, ZH, Zeng, YA, Jingnan, ZH, Yan, WA, Xiaolei, MA, Jian, GU. (2022). Life Cycle Assessment of Biodegradable Polylactic Acid (PLA) Plastic Packaging Products – Taking Tianjin, China as a Case Study. *Journal of Resources and Ecology*, 13 (3): 428–441 <https://doi.org/10.5814/j.issn.1674-764x.2022.03.008>.
17. Cardona, M. M., Yesquen, X. R. (2024). Caracterización del consumidor desde sus preferencias hacia los empaques biodegradables, una segmentación del mercado. *European Public & Social Innovation Review*, 9, 1–18. <https://doi.org/10.31637/epsir-2024-801>.
18. Pinto Torres, C. A., Cardona Gómez, J., Polanco Puerta, M. F. (2023). Percepción de consumidores y perspectivas de industrias de alimentos de Cali sobre el uso de bioplástico en sus empaques. *Revista Universidad y Empresa*, 25 (44). <https://doi.org/10.12804/revistas.urosario.edu.co/empresa/a.12506>.
19. Ibarra, S. L. J., Martínez, Á. G. A., Zapata, N. I. A. (2024). Bioplásticos: Una Mirada Integral a su Viabilidad y Aceptación en el Mercado de Consumo. *Emergentes-Revista Científica*, 4 (2), 230–246. <https://doi.org/10.60112/erc.v4i2.142>.
20. Tolentino-Villalobos, E., Rodríguez-Gracia, D. K., Osorio-Rojas, E. M., López-Muñoz, C. Bioplástico: Una Solución Sencilla a un Problema Complejo. *Puerto del Conocimiento*, 117.
21. Findrik, E., Meixner, O. (2023). Drivers and barriers for consumers purchasing bioplastics – a systematic literature review. *Journal of cleaner production*. 410. 137311. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137311>.
22. Muizniece-Brasava, S, Kirse-Ozolins, A. (2018) Attitudes of Latvian consumers to traditional and eco-friendly food packaging materials: comparison of 2007 and 2017. 17th International Scientific Conference “Engineering for Rural Development”. <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N560>.
23. Yan, MR, Hsieh, S, Ricacho, N. (2022). Innovative Food Packaging, Food Quality and Safety, and Consumer Perspectives. *Processes*. 10 (4):747. <https://doi.org/10.3390/pr10040747>.
24. Brennan, L., Langley, S., Verghese, K., Lockrey, S., Ryder, M., Francis, C., Tram Phan-Le, N., Hill, A. (2021). The role of packaging in fighting food waste: A systematised review of consumer perceptions of packaging. *Journal of Cleaner Production*. V. 281, 125276, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125276>.
25. Versino, F, Ortega, F, Monroy, Y, Rivero, S, López, OV, García, MA. (2023). Sustainable and Bio-Based Food Packaging: A Review on Past and Current Design Innovations. *Foods*. 12 (5):1057. <https://doi.org/10.3390/foods12051057>.

УДК 664.48

ВИКОРИСТАННЯ ГРИБІВ ШИЇТАКЕ (*LENTINULA EDODES*) В ПЕРШІЙ СТРАВІ ШВИДКОГО ПРИГОТУВАННЯ ДЛЯ ПОТРЕБ ЗБРОЙНИХ СИЛ УКРАЇНИ

Бахлукова К. В.¹, к.т.н., завідувачка відділу
аналітичних досліджень та якості харчової продукції
<https://orcid.org/0009-0006-3302-537X>

Веліканов О. О.², аспірант кафедри експертизи харчових продуктів
<https://orcid.org/0000-0003-1856-0244>

¹Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна

²Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-02>

Предмет. Харчові, енергетичні і споживчі характеристики першої страви швидкого приготування «Юшка грибна по-українськи». Юшку готували з набору подрібнених сушених овочів, грибів шиїтаке (*Lentinula edodes*), ячної крупи і спецій. Набір розрахований на приготування протягом 15 хвилин в 30 літрах киплячої води. **Мета.** Обґрунтування можливості використання грибів шиїтаке в першій страві швидкого приготування і довготривалого зберігання «Юшка грибна по-українськи» з сушеної сировини для повсякденних потреб Збройних Сил України та порівняння її властивостей з іншими першими стравами, що готувались в польових умовах. **Методи.** Визначення вмісту білка методом К'ельдаля. Визначення вмісту жиру екстракційно-гравіметричним методом. Визначення сухого залишку і золи гравіметричним методом. Органолептичний аналіз. Анкетування. **Результати.** Показана перспективність використання промислово вирощених сушених грибів шиїтаке в повсякденному раціоні харчування військовослужбовців. Запропонований раціональний підхід до створення страв довготривалого зберігання і швидкого приготування в польових умовах на основі дозованих наборів сушених овочів, спецій і грибів. На підставі проведених порівняльних досліджень харчової та енергетичної цінності «Юшки грибної по-українськи» та інших перших страв, а також її вартості показана перспективність створення таких харчових продуктів. Запропонований перспективний спосіб зберігання сезонних овочів шляхом їх сушіння, що в польових умовах покращує логістику і зменшує час приготування їжі. **Сфера застосування результатів.** Харчування у Збройних Силах України, створення державних запасів.

Ключові слова: гриби шиїтаке, страви швидкого приготування, повсякденне харчування військовослужбовців, вегетаріанські раціони

USING OF SHIITAKE MUSHROOMS (*LENTINULA EDODES*) IN THE FAST-COOKING FIRST DISH FOR THE NEEDS OF THE ARMED FORCES OF UKRAINE

Kseniia Bakhlukova¹, PhD, Head of Department
Analytical Research and Food Products Quality
<https://orcid.org/0009-0006-3302-537X>

Oleksandr Velikanov², Postgraduate, Department of Foods Quality and Examination.
<https://orcid.org/0000-0003-1856-0244>

¹Institute of Food Resources, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine

²National University of Food Technologies

Subject. Nutritional and energy values and consumer characteristics of the fast cooking first-dish “Mushroom soup in Ukrainian style”. The soup was prepared from a selection of ground dried vegetables, Shiitake mushrooms, barley and spices. The set is intended for cooking in 30 liters of water for 15 minutes. **Purpose.** To evaluate the possibility of using Shiitake mushrooms in the fast-cooking and long-term storage first-dish “Mushroom soup in Ukrainian style” prepared from dried raw materials for everyday needs of the Armed Forces of Ukraine and comparing its properties with other first dishes prepared in the field. **Methods.** Determination of protein content by Kjeldahl method. Determination of fat content by gravimetric analysis. Determination of soluble solids and ash content by the gravimetric method. Sensorial analysis. Questionnaire. **Results.** The perspective of using industrially grown dried Shiitake mushrooms in the daily diet of military personnel is shown. It was proposed the practical approach to the creation of long-term storage meals, to be fast-cooked in the field conditions, and are

*based on dosed measured selections of dried vegetables, spices and mushrooms. The prospect of creating of such food products is shown, based on comparative studies of the nutritional and energy value, as well as its cost, of "Mushroom soup in Ukrainian style" and other first courses. A promising way to store seasonal vegetables by drying was proposed, which improves logistics and shortens cooking time in the field. **Scope of results.** Food supply in the Armed Forces of Ukraine, the creation of state reserves.*

Key words: shiitake mushrooms, fast-cooking dishes, daily nutrition of military personnel, vegetarian diets

Постановка проблеми. Належна організація харчування військовослужбовців в умовах бойових дій та польового вишколу є непростю та важливою справою. Їжа у складі польових раціонів повинна містити необхідну кількість калорій, бути збалансованою за вмістом поживних речовин, довго зберігатися без створення спеціальних умов, легко і швидко готуватися, мати прийнятні органолептичні показники. Отже, суттєве збільшення потреб Збройних Сил України в якісному і повноцінному харчуванні обумовлює необхідність інноваційних рішень щодо асортименту та якості харчових продуктів спеціального призначення.

До того ж, різка зміна економічної ситуації в країні, умов виробництва сільськогосподарської сировини і звуження ринків збуту вимагає нових підходів до її збереження та використання.

Шляхом одночасного вирішення цих задач може стати розробка і створення сублімованих і сушених продуктів довготривалого зберігання. На створення таких продуктів може бути використана певна частина сезонного врожаю овочевих культур. Висушені та сублімовані продукти традиційно присутні у харчуванні туристів, в добових армійських пайках країн НАТО (фрукти), які використовуються при виконанні спеціальних завдань. Проте такі продукти у повсякденному харчуванні військовослужбовців Збройних Сил України наразі практично не застосовуються.

У повсякденному раціоні військовослужбовців неодмінно присутня перша обідня гаряча страва. Хоча супи і борщі не відрізняються високою калорійністю і вмістом поживних речовин (в першу чергу білків), вони добре смакують, покращують роботу кишківника, зігрівають, містять розчинені корисні нутрієнти, які завдяки підвищеній температурі легко засвоюються, створюючи швидке відчуття ситості.

Існує велика кількість рецептур приготування перших страв у польових умовах. Узагальнюючи, можна сказати, що всі вони містять сезонні овочі, крупу або макаронні вироби, спеції. Як джерело білка використовуються м'ясо або бобові, що також є основою характерного смаку цих страв.

Сирі овочі достатньо важкі та об'ємні, потребують певних умов зберігання, псуються, трудомісткі при приготуванні, проте у сушеному вигляді вони зберігають свої поживні властивості, легкі, крім герметичної упаковки не потребують спеціальних умов зберігання, можуть поєднуватися в різноманітних необхідних кількостях для досягнення необхідних смакових характеристик, швидко готуються тощо [1, 2].

М'ясо містить велику кількість білка (15–26 г/100 г) [3–5], до складу якого входять всі амінокислоти, включаючи незамінні [6]. Альтернативним джерелом білка в армійських вегетаріанських раціонах харчування країн НАТО та Ізраїлю виступають бобові, зокрема соя, та продукти її переробки [7]. Вони також містять велику кількість білку (20–35 г/100 г) [8], що іноді перевищує показник для м'яса [9].

Водночас м'ясо складно сушити, воно швидко псується і потребує спеціальних умов зберігання. Бобові також схильні до псування внаслідок ураження пліснявою та паразитами. Вони варяться до стану готовності впродовж досить тривалого часу.

Гриби в повсякденному харчуванні військовослужбовців практично не використовуються, хоча, наприклад, дереворуйнівний гриб шиїтаке (*Lentinula edodes*) містить білки у кількості 2,2 г/100 г (або 20 г/100 г сушених) [10,11], які складаються з 18 амінокислот, з яких 8 є незамінними [11]. Крім того, в грибах є багато інших корисних

речовин, які забезпечують їм лікувально-профілактичні властивості. Вживання грибів сприяє підвищенню імунітету, профілактиці депресій і нервових станів при великих фізичних і психологічних навантаженнях [12, 13]. Гриби шийтаке використовуються у харчуванні у період реабілітації військовослужбовців, зокрема у військовій медицині США [14, 7].

Гриби шийтаке вирощують на деревинному субстраті. Вони мають ритмічну у часі, прогнозовану врожайність, є абсолютно безпечними з харчової точки зору і можуть вживатися в їжу навіть у сирому вигляді. За рахунок збагачення субстрату мікроелементами вони можуть насичуватися корисними мікронутрієнтами [10, 15], що підвищує їх лікувально-профілактичні властивості. Шийтаке легко сушаться і не потребують додаткової стерилізації, адже вирощуються в стерильних умовах. При сушенні гриби подрібнюються, тому до їх зовнішнього вигляду і розмірів не висуваються жорсткі маркетингові вимоги, що дає можливість використовувати значно більш дешеву сировину. У сушеному вигляді гриби шийтаке швидко розварюються, добре смакують і мають приємний, виразний грибний аромат.

В Україні, на відміну від наших найближчих сусідів, не кажучи вже про далекосхідні країни, практично відсутня культура цілорічного вживання грибів в їжу [16], хоча вони є цінним джерелом білка і багатьох корисних мікронутрієнтів, що особливо важливо при значних фізичних навантаженнях, а також в умовах стресу.

Мета роботи – обґрунтування можливості використання грибів шийтаке в першій страві швидкого приготування і довготривалого зберігання «Юшка грибна по-українськи» з сушеної сировини для повсякденних потреб Збройних Сил України, та порівняння її властивостей з відомими першими стравами, призначеними для приготування в польових умовах.

Матеріали і методи. Способом приготування інгредієнтів було обрано сушіння в захищеному від зовнішніх впливів приміщенні при кімнатній температурі. Такий спосіб сушіння було обрано оскільки він є більш економічним і продуктивним порівняно з сублімаційним сушінням. Крім того, було враховано, що зовнішній вигляд продуктів при подальшому приготуванні не має практичного значення. Тривалість сушіння і розварювання (яке визначали органолептично) при приготуванні регулювали розмірами часточок. В якості продуктів для сушіння були використані: гриби шийтаке, цибуля, морква, картопля, петрушка, часник.

Повноту сушіння контролювали методом зважування до сталої ваги на технічних вагах.

Спеціальні дослідження впливу різних чинників на кінетику сушіння не проводили.

В якості альтернативного картоплі наповнювача в дослідах використовували круп'яну, обрану через свій смак, що пасував готовій страві, вартість і легкість розварювання.

Інгредієнти змішували в різних пропорціях і варили протягом 15 хвилин у киплячій воді.

Час приготування був обраний, виходячи з необхідності зменшення часу приготування їжі в польових умовах.

Досліджували вплив розміру і співвідношення інгредієнтів на одночасність приготування страви, на час приготування страви, на органолептичні характеристики. Оцінювали орієнтовну вартість продукту

Дослідження проводили на базі виробничих потужностей ТОВ «ЕСМАШ-3», м. Київ, та в польових умовах при приготуванні на польовій причіпній кухні КП-130.

Оцінювання органолептичних і виробничих характеристик проводили шляхом анкетування особового складу військовослужбовців та кухарів за декількома пунктами з подальшим статистичним обробленням результатів.

Порівняння харчової та енергетичної цінності здійснювали з першими стравами – «Борщ український на м'ясному бульйоні», «Борщ український дієтичний», «Суп

квасолевий», приготовленими на польовій кухні КП-130 в реальних умовах за чинним рецептурами.

Для лабораторних досліджень перші страви подрібнювали до пюреподібної консистенції на лабораторному блендері. Зважування здійснювалося на аналітичних вагах OHAUS AR 2140.

Визначення вмісту білка здійснювали методом К'ельдаля за допомогою напівавтоматичного дистилятора FoodALYT D1000 (Німеччина) та дигестора для спалювання органічної сировини Infrared Digestion Unit BEGER. Маса усередненої наважки складала п'ять грамів.

Вміст жиру визначали гравіметрично на наважці 10 грамів.

Сушіння зразку для встановлення сухого залишку здійснювали в термошафі SNOL 58/350 за температури 105°C до сталої ваги, а його спалення – в муфелі SNOL за температури 550 °C також до сталої ваги.

Реактиви та порядок дій регламентувалися нормативними документами.

Результати та обговорення.

Підготовка інгредієнтів.

В процесі сушіння вихідних продуктів до сталої маси було встановлено, що середня втрата маси становить 80–90%, а саме (табл. 1):

Таблиця 1

**Набір продуктів для сушіння
із розрахунку на 30 літрів готової першої страви
«Юшка грибна по-українськи»**

Інгредієнт	Маса природнього продукту, кг	Маса сушеного продукту, кг
Картопля	4,0	0,78
Цибуля	0,8	0,08
Морква	0,7	0,11
Гриби	5,0	0,56
Часник	0,1	0,03
Петрушка	0,1	0,015

Зменшення маси і об'єму продуктів значно полегшує операції з їх перевезення та зберігання.

Час приготування та органолептичні характеристики. Перша серія дослідів виявилася невдалою. Час приготування до повної готовності сягав двох годин, що неприпустимо в польових умовах. Інгредієнти розварювалися нерівномірно. За час, поки морква і цибуля набували готовності, картопля і крупа розварювалися в пюреподібну

масу, гриби через тривалий термічний вплив втрачали свої корисні властивості.

У другій серії за рахунок подрібнення часточок моркви і цибулі час приготування вдалося довести до запланованих 15 хвилин з одночасним розварюванням всіх складових, та отриманням продукту привабливої консистенції, однак органолептичні дослідження встановили, що суп містив забагато крупи.

У третій серії співвідношення картоплі і крупи було збалансовано відповідно до побажань експертів, втім вони відзначили неналежно малу кількість зелені і спецій. Це зауваження було враховано в четвертій серії дослідів, в якій перша страва довготривалого зберігання і швидкого приготування «Юшка грибна по-українськи» отримала позитивні відгуки військовослужбовців. Динаміка зміни оцінки привабливості першої страви «Юшка грибна по-українськи», встановлена шляхом анкетування військовослужбовців, наведена на рис. 1.

Результати анкетування кухарів не потребували обробки. З другої серії дослідів, за їх оцінками, характеристики «зручність зберігання», «швидкість та зручність приготування» отримали найбільший бал – 10.

Зовнішній вигляд набору «Юшка грибна по-українськи» представлений на рис. 2.

Кінцевий склад продукту представлений в таблиці 2.

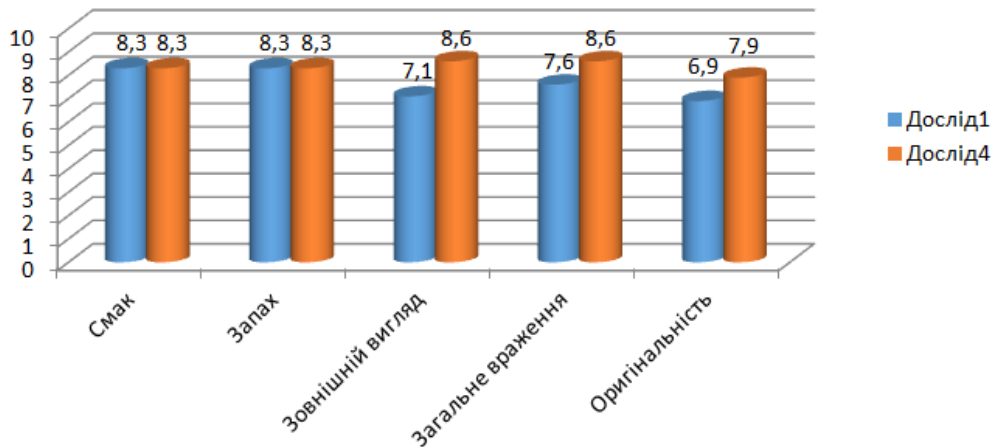


Рис. 1. Динаміка зміни характеристик якості першої страви «Юшка грибна по-українськи» на підставі статистичної обробки результатів анкетування військовослужбовців за десятибальною шкалою



Рис. 2. Зовнішній вигляд першої страви довготривалого зберігання «Юшка грибна по-українськи» (мала упаковка)

Таблиця 2
Склад першої страви швидкого приготування «Юшка грибна по-українськи» на 30 літрів (60 порцій)

Продукт	Кількість
Вода	25 л
Картопля	0,78 кг
Цибуля	0,08 кг
Морква	0,11
Гриби	0,56 кг
Крупа ячна	1,0 кг
Сіль	0,2 кг
Олія соняшникова	300 мл
Спеції натуральні:	
Часник	0,03 кг
Петрушка	0,015 кг
Перець чорний мелений	0,012 кг
Лавровий лист	0,01 г

Маса пакета 3,1 кг, орієнтовна вартість продуктів 1200 грн; пакет розрахований на одночасне приготування 60 порцій першої страви.

Харчова та енергетична цінність. Результати проведених досліджень наведені в таблиці 3.

За встановленими характеристиками досліджені перші страви є подібними, проте гриби легко сушаться і зберігаються, а створений продукт потребує набагато менше часу і зусиль для приготування. Вартість кінцевого продукту є сприятливою для включення його в добовий раціон харчування, особливо веганський. Продукт є оригінальним, з національним колоритом, легкий у приготуванні і зберіганні. Гриби, як і очікувалося, виявилися чудовою альтернативою м'яса та квасолі. Корисні лікувальні властивості

грибів шийтаке сприятимуть відновленню організму людей, що знаходяться в екстремальних ситуаціях.

Таблиця 3

**Харчова та енергетична цінність на 100 г
«Юшки грибної по-українськи» та перших страв, взятих для порівняння**

Перша страва	Білки, %	Жири, %	Вуглеводи, %	Сухий залишок, %	Зола, %	Калорійність, кКал
Юшка грибна по-українськи	1,635	2,194	9,159	14,104	1,116	62,92
Борщ український на м'ясному бульйоні	1,864	2,124	7,532	12,873	1,352	56,70
Борщ український дієтичний	1,139	1,779	4,671	8,658	1,068	39,25
Суп квасолевий	1,881	1,938	6,165	11,137	1,153	49,63

Висновки. Підтверджено, що доцільною альтернативою м'ясу та бобовим, як джерелу білка, в повсякденному харчуванні і веганських раціонах можуть стати промислово вирощені гриби. Вони мають прогнозовану врожайність та склад, легко сушаться, не псуються, страви з них добре смакують і вносять різноманітність в раціон харчування.

Обрані для дослідження гриби шийтаке, крім того, мають лікувально-профілактичні властивості і допомагають людському організму долати стресові ситуації та фізичні навантаження.

Сушені овочі в різних комбінаціях можуть бути використані для створення наборів довготривалого зберігання використовуваних у стравах швидкого приготування в польових умовах, як на штатному, так і на іншому обладнанні, для повсякденного харчування в Збройних Силах України.

В умовах воєнного стану при непрогнозованій врожайності і невизначеному попиті на внутрішніх і зовнішніх ринках збуту овочевих культур, а також за відсутності належних умов їх зберігання, атмосферне сушіння та сублімація стають привабливим способом збереження для подальшого використання продукції без суттєвої втрати її характеристик.

Виконане дослідження відповідає завданням і пріоритетним напрямкам визначеними Указом Президента України № 681/2023 від 9 жовтня 2023 року про введення в дію рішення РНБО «Про стан забезпечення продовольчої безпеки».

Бібліографія

1. Тарасенко Т. А., Євлаш В. В., Неміріч О. В., Вашека О. М., Гавриш А. В., Кравченко О. І. Теоретичне дослідження способів сушіння овочів та фруктів. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. 2015. Т. 17, № 4. С. 148–158.
2. Атанасова В. В. Технологія пюретипованих страв на основі сочевиці. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. 2015. Т. 1, № 21. С. 299–307.
3. Сімахіна Г. О., Науменко Н. В., Камінська С. В., Межубовський О. М. Обґрунтування складу високобілкового концентрату для супів швидкого приготування. Наукові праці НУХТ. 2023. Т. 29, №2. С. 151–161.
4. Маслійчук О. Б., Сімахіна Г. О., Науменко Н. В. Наукові засади розроблення продуктів з підвищеним вмістом білка в раціоні харчування військовослужбовців. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. 2024. № 6. С. 120–131. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.6.14>
5. Гришина Е. О. Білки та їх роль в організмі. Наукові записки : зб. наук. пр. Кіровоград : КНТУ. 2011. Т. 11, № 3, С. 237–239. <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/5193>.

6. Zaitsev S., Bogolyubova N. Estimation of the Amino Acid Composition of Pig Meat and Its Correlation with Pork Quality. In: Muratov, A., Ignateva, S. (eds) *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2021)*. AFE 2021. Lecture Notes in Networks and Systems. 2022. V. 354. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91405-9_50.

7. Чорна В. В., Лотоцька-Дудик У. Б., Подолян В. М., Івашкевич Є. М., Томашевський А. В. Вимоги до новітніх індивідуальних раціонів харчування військовослужбовців ЗС України та країн НАТО. *Український журнал військової медицини*. 2023. Т. 4, № 1. С. 83-93. [https://doi.org/10.46847/ujmm.2023.1\(4\)-083](https://doi.org/10.46847/ujmm.2023.1(4)-083).

8. Ratnayake W. S., Naguleswaran S. Utilizing side streams of pulse protein processing: A review. *Legume Science*. 2022. V. 4. № 1, 120. <https://doi.org/10.1002/leg3.120>.

9. Kudelka W., Kowalska M., Popis M. Quality of Soybean Products in Terms of Essential Amino Acids Composition. *Molecules*. 2021. V. 26, № 16. P. 5071. <https://doi.org/10.3390/molecules26165071>.

10. Веліканов О., Андрусишина І. Модифікування мікроелементного складу грибів шиїтаке (*Lentinus edodes*). *Продовольчі ресурси*. 2022. Т. 10, № 18, С. 43–50. <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-18-04>.

11. Uffelman C. N., Doenges K. A., Armstrong M. L., Quinn K., Reisdorph R. M., Tang M., Krebs N. F., Reisdorph N. A., Campbell W. W. Metabolomics Profiling of White Button, Crimini, Portabella, Lion's Mane, Maitake, Oyster, and Shiitake Mushrooms Using Untargeted Metabolomics and Targeted Amino Acid Analysis. *Foods*. 2023. V. 12, № 16. P. 2985. <https://doi.org/10.3390/foods12162985>.

12. Кравченко М. Ф., Кублінська І. А., Лесишина Ю. О., Рябошапко О. Л. Р-вітамінна активність грибного порошку шиїтаке. *Технічні науки та технології*. 2018. Т. 2, № 8, С. 172–178. <http://tst.stu.cn.ua/article/view/113130>.

13. Chen, J., Wei, S. L. & Gao, K. (2015). Chemical Constituents and Antibacterial Activities of Compounds from *Lentinus edodes*. *Chem Nat Compd*, 51, 592–594. <https://doi.org/10.1007/s10600-015-1358-9>.

14. Rachel, H., David, N., Graham, M., Cherie, B. M., Yasunori, M., Colin E. G., Paul, J. R., Loughrey, A., Rao, J. R., Moore, J. E. (2009). An examination of antibacterial and antifungal properties of constituents of Shiitake (*Lentinula edodes*) and Oyster (*Pleurotus ostreatus*) mushrooms, *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 15(1), 5-7, ISSN 1744-3881, <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2008.10.002>.

15. Арсеньєва Л. Ю., Веліканов О. О., Станіславів С. І. Оцінка ризиків накопичення токсичних металів грибами шиїтаке з субстратів різного складу. *Продовольчі ресурси*. 2021. Т. 9, № 17. С. 14–21. <https://doi.org/10.31073/foodresources2021-17-02>.

16. Столярчук Н. М., Веліканов О. О. Огляд ринку сушених грибів в країнах ЄС та розширення експортних можливостей України. *Товарознавчий вісник*. 2022. Т. 2, № 15. С. 22–37. <https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2022-16-2>.

References

1. Tarasenko, T. A., Yevlash, V. V., Niemirich, O. V., Vasheka, O. M., Havrysh, A. V., Kravchenko, O. I. (2015). *Teoretychne doslidzhennia sposobiv sushinnia ovochiv ta fruktiv [Theoretical study of methods of drying vegetables and fruits]*. *Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni S. Z. Gzhytskoho [Scientific Bulletin of the Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology named after S.Z. Gzhytsky]*. 17 (4). 148–158. [in Ukrainian].

2. Atanasova, V. V. (2015). *Tekhnolohiia piurepodibnykh strav na osnovi sochevytsi [Technology of pureed dishes based on lentils]*. *Prohresyvnii tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli [Progressive techniques and technologies of food production of restaurant business and trade]*. 1(21). 299–307. [in Ukrainian].

3. Simakhina, H. O., Naumenko, N. V., Kaminska, S. V. & Mezhubovskyi, O. M. (2023). *Obhruntuvannia skladu vysokobilkovoho kontsentratu dlia supiv shvydkoho pryhotuvannia [Substantiation of the composition of high-protein concentrate for instant soups]*. *Naukovi pratsi NUKhT [Scientific works of NUFT]*. 29 (2). 151–161. [in Ukrainian].

4. Masliichuk, O. B., Simakhina, H. O., & Naumenko, N. V. (2024). *Naukovi zasady rozroblennia produktiv z pidvyshchenym vmistom bilka v ratsioni kharchuvannia viiskovosluzhbovtiv [Scientific basis for the development of products with a high protein content in the diet of military personnel]*. *Tavriiskyi naukovyi visnyk. Seriya: Tekhnichni nauky [Tavriyskyi naukovyi vestnik. Series: Technical Sciences]*. (6). 120–131. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.6.14> [in Ukrainian].

5. Hryshyna, E. O. (2011). Bilky ta yikh rol v orhanizmi [Proteins and their role in the body]. *Naukovi zapysky : zb. nauk. pr. Kirovohrad : KNTU* [Scientific notes: a collection of scientific papers. Kirovograd: KNTU], 11 (3), 237–239. <https://dspace.kntu.kr.ua/handle/123456789/5193>. [in Ukrainian].
6. Zaitsev, S., Bogolyubova, N., Muratov, A., Ignateva, S. (eds). (2022). Estimation of the Amino Acid Composition of Pig Meat and Its Correlation with Pork Quality. *Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East (AFE-2021)*. AFE 2021. *Lecture Notes in Networks and Systems*, V. 354. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91405-9_50.
7. Chorna, V. V., Lototska-Dudyk, U. B., Podolian, V. M., Ivashkevych, Ye. M., Tomashevskiy, A. V. (2023). Vymohy do novitnikh indyvidualnykh ratsioniv kharchuvannia viiskovosluzhbovtziv ZS Ukrainy ta krain NATO [Requirements for the newest individual rations for military personnel of the Armed Forces of Ukraine and NATO countries]. *Ukrainskyi zhurnal viiskovoi medytsyny* [Ukrainian Journal of Military Medicine]. 4(1). 83–93. [https://doi.org/10.46847/ujmm.2023.1\(4\)-083](https://doi.org/10.46847/ujmm.2023.1(4)-083). [in Ukrainian].
8. Ratnayake, W. S., Naguleswaran, S.(2022). Utilizing side streams of pulse protein processing: Areview. *Legume Science*, 4 (1), e120. <https://doi.org/10.1002/leg3.120>.
9. Kudelka, W., Kowalska, M., Popis, M. (2021). Quality of Soybean Products in Terms of Essential Amino Acids Composition. *Molecules*; 26(16):5071. <https://doi.org/10.3390/molecules26165071>.
10. Velikanov, O., & Andrusyshyna, I. (2022). Modyfikuvannia mikroelementnoho skladu hrybiv shiitake (*lentinus edodes*) [Modification of microelement elemental composition of shiitake mushrooms (*lentinus edodes*)]. *Prodovolchi resursy* [Food resources], 10(18), 43–50. <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-18-04>. [in Ukrainian].
11. Uffelman, C.N., Doenges, K.A., Armstrong, M.L., Quinn, K., Reisdorph, R.M., Tang, M., Krebs, N.F., Reisdorph, N.A. & Campbell, W.W. (2023). Metabolomics Profiling of White Button, Crimini, Portabella, Lion's Mane, Maitake, Oyster, and Shiitake Mushrooms Using Untargeted Metabolomics and Targeted Amino Acid Analysis. *Foods*. 12 (16):2985. <https://doi.org/10.3390/foods12162985>.
12. Kravchenko, M. F., Kublinska, I. A., Lesyshyna, Yu. O., Riaboshapko, O. L. (2018). P-vitaminna aktyvnist hrybnoho poroshku shiitake [P-vitamin activity of shiitake mushroom powder]. *Tekhnichni nauky ta tekhnolohii* [Technical sciences and technologies]. 2(8), p.172–178. <http://tst.stu.cn.ua/article/view/113130>. [in Ukrainian].
13. Chen, J., Wei, SL. & Gao, K. (2015). Chemical Constituents and Antibacterial Activities of Compounds from *Lentinus edodes*. *Chem Nat Compd*, 51, 592–594. <https://doi.org/10.1007/s10600-015-1358-9>.
14. Rachel, H., David, N., Graham, M., Cherie, B. M., Yasunori, M., Colin E. G., Paul, J. R., Loughrey, A., Rao, J.R., Moore, J. E. (2009).An examination of antibacterial and antifungal properties of constituents of Shiitake (*Lentinula edodes*) and Oyster (*Pleurotus ostreatus*) mushrooms, *Complementary Therapies in Clinical Practice*, 15(1), 5–7, <https://doi.org/10.1016/j.ctcp.2008.10.002>.
15. Arsenieva, L., Velikanov, O., & Stanislaviv, S. (2021). Otsinka ryzykiv nakopychennia toksychnykh metaliv hrybamy shiitake z substrativ riznoho skladu [Risks evaluation of toxic metals accumulation by shiitake mushrooms from various composition substrates]. *Prodovolchi resursy* [Food resources], 9 (17), 14–21. <https://doi.org/10.31073/foodresources2021-17-02> [in Ukrainian].
16. Stoliarchuk, N. M. Velikanov, O. O. (2022). Ohliad rynku sushenykh hrybiv v krainakh YeS ta rozshyrennia eksportnykh mozhlyvostei Ukrainy [Review of the market of dried mushrooms in the EU countries and expansion of export opportunities of Ukraine]. *Tovaroznavchyi visnyk* [Commodity Bulletin]. 2(15). p. 22–37. <https://doi.org/10.36910/6775-2310-5283-2022-16-2> [in Ukrainian].

МОРОЗИВО З ЯГІДНО-ОВОЧЕВИМ НАПОВНЮВАЧЕМ

Берник І. М.¹, д.т.н., доцент
кафедри біоінженерії, біо- та харчових технологій
<https://orcid.org/0000-0002-1367-3058>

Руденко І. А.², технолог
Новгородська Н. В.¹, к.с.-г.н., доцент
кафедри біоінженерії, біо- та харчових технологій
<https://orcid.org/0000-0002-7497-0435>

Овсієнко С. М.¹, к.с.-г.н., доцент
кафедри біоінженерії, біо- та харчових технологій
<https://orcid.org/0000-0002-7497-0435>

Колісніченко А. Р.¹, здобувач вищої освіти

Дідик Т. В.¹, здобувач вищої освіти

¹Вінницький національний аграрний університет, Вінниця, Україна
²ТОВ "ТРИ ВЕДМЕДІ", Бердичів, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-03>

Предмет. Гарбуз, актинідія, наповнювач ягідно-овочевий, морозиво. **Мета.** Розробка науково-обґрунтованої технології морозива збагаченого наповнювачем рослинного походження. **Методи.** Для виконання поставлених завдань використовували стандартні, загальноживані й модифіковані методи дослідження фізико-хімічних і органолептичних показників рослинної сировини. **Результати.** В Україні є значні невикористані ресурсні можливості, включаючи сировинну та промислову бази, для отримання функціональних інгредієнтів та покращення складу харчових продуктів. Незважаючи на наявні розробки та інтенсивні дослідження в цій галузі, саме питання використання природних функціональних інгредієнтів є надзвичайно актуальним. Обґрунтовано підходи до виробництва морозива з ягідно-овочевим наповнювачем. Розроблено технологію підготовки ягід актинідії та гарбузового пюре. За результатами органолептичних досліджень встановлено співвідношення складових компонентів у складі наповнювача. Відповідно до запропонованої технології виробництва та дослідженого співвідношення складових компонентів, ягідно-овочевий наповнювач володіє підвищеною антиоксидантною активністю. Антиоксидантна активність має досить високий показник, що пов'язано з вмістом вітаміну С у ягодах актинідії. Теоретично обґрунтовано й експериментально підтверджено доцільність використання ягідно-овочового наповнювача при виробництві морозива, що сприяє підвищенню якості готового продукту. Запропоновано рецептуру та технологію нових видів морозива з урахуванням технологічних властивостей внесених інгредієнтів. **Сфера застосування результатів.** Проведені дослідження можуть слугувати підґрунтям для розширення асортименту морозива та отримання продукції високої якості.

Ключові слова: актинідія, гарбуз, збитість, опір таненню, біологічна цінність, органолептичні властивості, ягідно-овочевий наповнювач, морозиво

ICE CREAM WITH BERRY AND VEGETABLE FILLER

Iryna Bernyk¹, D-r of Sc., Engineering, Associate Professor
Department of Bioengineering, Bio- and Food Technologies
<https://orcid.org/0000-0002-1367-3058>

Iryna Rudenko², technologist
Nadiya Novgorodskaya¹, PhD, Engineering, Associate Professor
Department of Bioengineering, Bio- and Food Technologies
<https://orcid.org/0000-0002-7497-0435>

Svitlana Ovsienko¹, PhD, Engineering, Associate Professor
Department of bioengineering, bio- and food technologies
<https://orcid.org/0000-0002-7497-0435>

Artem Kolisnichenko¹, student of higher education

Taras Didyk¹, student of higher education

¹Vinnitsia National Agrarian University, Vinnitsia, Ukraine
²LLC "THREE BEARS", Berdychiv, Ukraine

Subject. Pumpkin, actinidia, berry-vegetable filling, ice-cream. **Purpose.** Development of science-based technology for ice cream enriched with filler of vegetable origin. **Method.** Standard, commonly used and modified methods of research of physico-chemical and organoleptic indicators of plant raw materials were used to fulfill the tasks. **Results.** Ukraine has significant untapped resource potential, including raw material and industrial bases, for obtaining functional ingredients and improving the composition of food products. Despite the existing developments and intensive research in this field, the very issue of using natural functional ingredients is extremely relevant. Approaches to the production of ice cream with berry-vegetable filling are substantiated. The technology for preparing actinidia berries and pumpkin puree has been developed. According to the results of organoleptic studies, the ratio of the constituent components in the composition of the filler was established. According to the proposed production technology and the researched ratio of constituent components, the berry-vegetable filler has increased antioxidant activity. The antioxidant activity is quite high, which is related to the content of vitamin C in actinidia berries. The expediency of using a berry-vegetable filler in the production of ice cream, which helps to improve the quality of the finished product, has been theoretically substantiated and experimentally confirmed. The recipe and technology of new types of ice cream are proposed, taking into account the technological properties of the added ingredients. **Scope of results.** The conducted research can serve as a basis for expanding the assortment of ice cream and obtaining high-quality products.

Key words: actinidia, pumpkin, whippedness, melting resistance, biological value, organoleptic properties, berry-vegetable filler, ice-cream

Постановка проблеми.

Продукти харчування є найважливішим чинником зовнішнього середовища, які постачають організм людини пластичним матеріалом і енергією, що впливає на фізіологічну і розумову працездатність, визначає здоров'я людини і здатність до відтворення [1–3]. Продукти, що відповідають вимогам сьогодення це продукти зі збалансованим складом, з низькою калорійністю, що містять інгредієнти (добавки): функціонального і лікувального призначення, продукти швидкого приготування [4–6]. І як, і раніше, основною вимогою залишається безпека харчових продуктів для здоров'я людини.

Сучасна концепція харчування населення має відповідати не тільки вимогам раціонального споживання їжі, але й враховувати комплекс спеціальних профілактичних заходів, які знижують негативний вплив довкілля та особливостей сучасного способу життя людей [7, 8].

При формуванні пріоритетів у галузі здорового і безпечного харчування слід виходити із таких принципових положень [9–11]:

- при виробництві харчових продуктів слід використовувати вітчизняну сировину, компоненти та різноманітні дієтичні добавки, які є безпечними для здоров'я людини;
- продукти, які споживаються населенням, не повинні завдавати шкоди здоров'ю;
- кожен продукт повинен не тільки задовольняти фізіологічні потреби людського організму в життєво необхідних речовинах, але й виконувати профілактичні та лікувальні функції, включаючи виведення із організму шкідливих речовин.

Комбіновані продукти харчування – це біологічно цінні продукти, вироблені за використання комбінування основної сировини і різних добавок.

Активно ведуться роботи зі створення комбінованих молочних продуктів за використання рослинної сировини, яку можна розділити на декілька основних груп: плодово-ягідна і овочева сировина, дикоросла сировина (папороть, шипшина, калина, глід, гриби, лікарські трави) і зернові культури [12–15]. Зазвичай рівень заміни основної сировини в таких продуктах становить від 5% до 30% [16, 17]. При створенні комбінованих харчових продуктів керуються такими принципами: нові джерела сировини повинні бути безпечні для людини, збереження традиційних органолептичних характеристик продуктів, збалансованість продуктів за основними нутрієнтами, для забезпечення високої харчової та біологічної цінності.

Заморожений десерт (морозиво) – це солодкий збитий заморожений продукт, який виробляють по спеціальних рецептурах сумішей, що містять у визначених співвідношеннях складові частини молока та молочних продуктів, плодово-овочеву сировину, сахарозу, стабілізатори, у деяких рецептурах – ясні продукти, смакові й ароматні речовини [18–20]. Воно є одним із самих улюблених продуктів населення, особливо дітей. Це пояснюється не тільки його високими смаковими якостями, але і великою харчовою і біологічною цінністю.

Щорічно збільшується асортимент та кількість загартованого морозива на споживчому ринку України [21–23]. Покращується його якість, враховуються потреби споживачів у випуску нових видів спеціального призначення. Тому роботи спрямовані на підвищення споживних властивостей та формування якості та асортименту харчових продуктів із заданим складом і комплексом біологічно-активних добавок є актуальною задачею. Це особливо важливо для продуктів, що є традиційними для споживачів і використовуються майже щоденно у харчуванні переважної кількості населення України.

Для підвищення біологічної цінності та розширення асортименту морозива використовують натуральні плоди, ягоди та овочі у свіжому та замороженому вигляді, протерті або подрібнені, у вигляді пюре, соків, сиропів, екстрактів, варення, джемів, повидла та ін. [24–28].

Методи дослідження. Для виконання поставлених завдань використовували стандартні, загальноживані й модифіковані методи дослідження фізико-хімічних і органолептичних показників морозива [29–31].

Результати та обговорення. Україна має значні запаси сировинних ресурсів дикорослих та культивованих ягід, які здебільшого йдуть на експорт та не мають широкого використання.

У роботі відповідно до мети проведено дослідження створення ягідно-овочевого міксу, як наповнювача до морозива та в цілому створення продукту для здорового харчування з підвищеним вмістом харчових волокон, що сприяє поліпшенню харчового статусу населення і ліквідації мікронутрієнтного дефіциту. Відповідно до літературного пошуку запропоновано в якості сировини ягоди актинідії та гарбуза.

Рід *Actinidia* належить до родини актинідієвих, що об'єднує понад 30 видів. Рослини являють собою великі багаторічні витки ліани або кущі. Актинідії поширені в субтропічних, тропічних і частково помірних широтах Східної Азії – Китаї, Японії, Кореї. В Україні сорти різних видів актинідії є малопоширеними в садівництві, однак за останні роки спостерігається позитивна тенденція зацікавленості цією культурою, у садово-парковому господарстві, як садівниками-аматорами, так і господарствами. Ягоди актинідії мають високі смакові якості значної харчової та лікувальної цінності (табл. 1).

Таблиця 1

Органолептичні показники ягід актинідії

Показники	Характеристика
Зовнішній вигляд	плоди великі, подовжено-циліндричної форми, близько 3 см завдовжки, середньою масою від 12–14 г до 20 г
Смак і запах	гармонійний кисло-солодкий смак з приємним ароматом. На смак нагадують ківі з нотками екзотичних фруктів, агрусу
Консистенція	пружна
Колір	колір зелений та червоний рум'янець

До складу плодів актинідії входять вуглеводи, органічні кислоти, пектинові та дубильні речовини, вітаміни, макро- та мікроелементи, які конче необхідні для нормальної життєдіяльності людського організму (табл. 2). Калорійність: 47 кКал.

Таблиця 2

Фізико-хімічні показники Актинідії Київська Гібридна

Показник	Значення	Показник	Значення
Білки, кКал	3	Сухих речовин, %	16,5
Жири, кКал	36	Титрованих кислот, %	0,91
Вуглеводи, кКал	32	Загальних цукрів, %	8,47
Енергетичне співвідношення (б/ж/в), %:	7 : 77% : 69	Каротиноїдів, %	0,47
		Вітаміну С, мг%	63,65

Ягоди актинідії вирізняються багатим вмістом мінеральних речовин, які забезпечують нормальне проходження обмінних і ферментативних процесів в людському організмі. До складу ягід актинідії входять такі життєво важливі елементи як калій, що регулює кислотно-лужову рівновагу крові та стимулює серцеві скорочення; кальцій, що становить основу кісткової тканини; сірка, яка входить до складу сірковмісних амінокислот, деяких гормонів і вітамінів; хлор, який приймає участь в утворенні шлункового соку, формуванні плазми; залізо, яке входить до складу гемоглобіну. Особливо значну кількість ягоди актинідії накопичують заліза, кальцію та калію.

Крім названих мінеральних речовин до складу ягід актинідії входять елементи цинк, селен, бром, мідь та інші. Хімічний склад плодів актинідії свідчить про те, що вони є джерелом біологічно активних речовин і мають лікувальні властивості. Плоди актинідії з давніх часів широко використовують в народній медицині як лікувальний і профілактичний засіб. Крім названих мінеральних речовин до складу ягід актинідії входять елементи цинк, селен, бром, мідь та інші. Плоди актинідії є важливим джерелом постачання вітамінів та харчових волокон до організму людини. Ягоди актинідії вживають у свіжому та переробленому вигляді.

Плоди гарбуза характеризуються такими товарознавчими характеристиками, як високий вміст вуглеводів, мінеральних речовин, вітамінів, солей кальцію, калію, магнію, фосфору, кремнієвої кислоти, заліза, каротину, простота в підготовці до виробництва, дозволяють ефективно використовувати їх в різних харчових технологіях, в тому числі в технологіях отримання молочних продуктів. Гарбуз має тверду шкірку, багатий вуглеводами, пектиновими речовинами, білками, органічними кислотами і золю, тому його доцільно використовувати як продукт здорового харчування, як в свіжому, так і в переробленому вигляді. Органолептичні показники якості гарбуза регламентуються ДСТУ 3190-95.

Гарбуз має специфічний, ванільний запах; смак – середньої солодощі; відсутні сторонні присмаки і запахи. Харчова цінність плодів гарбуза корелює з хімічним складом. Плоди гарбуза містять значну кількість мінеральних речовин та вітамінів. Плодова частина гарбуза є джерелом простих цукрів, пектинових речовин, сумарний вміст цукрів знаходиться в межах 6,7. Вміст клітковини в досліджуваних зразках знаходиться в межах 1,29%. Плоди гарбуза є джерелом β -каротину.

Фізіологічна цінність гарбуза обумовлена вмістом в ній фізіологічно активними речовинами – мінеральними речовинами і вітамінами. Загальна кількість мінеральних речовин або золи в складі становить – 0,7%. У складі золи виявлені такі фізіологічно цінні макроелементи, як калій, магній, кальцій, натрій, фосфор, залізо. Вміст вітаміну С становить 15 мг/100 г.

Для створення молочних продуктів оздоровчого напрямку доцільним є використання плодової та ягідної сировини у вигляді пюре (рис. 1, 2).

Органолептичні та фізико-хімічні показники гарбузового пюре представлено в табл. 3.

Відповідно до обраних інгредієнтів необхідно дослідити співвідношення складових компонентів у складі наповнювача. З цієї метою проведено експериментальні

дослідження. Досліджували 4 типи зразків за різного співвідношення наповнювача з ягід актинідії та пюре гарбуза, зокрема:

- зразок № 1 – ягоди актинідії : пюре гарбуза 1:0
- зразок №2 – ягоди актинідії : пюре гарбуза 1:1,
- зразок №3 – ягоди актинідії : пюре гарбуза 2:1,
- зразок №4 – ягоди актинідії : пюре гарбуза 3:1.

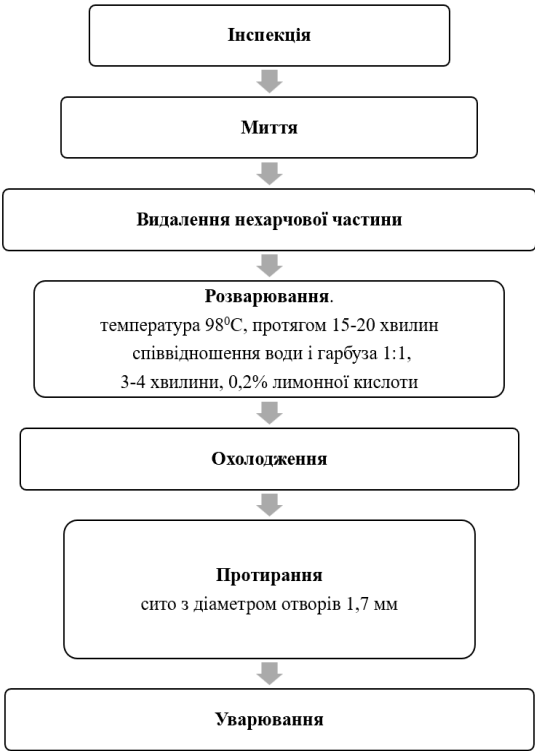


Рис. 1. Технологічна схема приготування гарбузового пюре

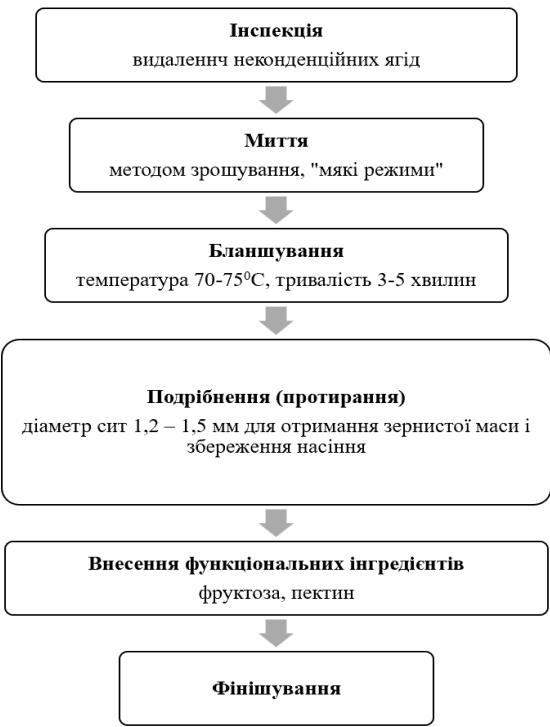


Рис. 2. Технологічна схема приготування пюре з ягід актинідії

Таблиця 3

Органолептичні та фізико-хімічні показники якості гарбузового пюре

Найменування показника	Фактичні значення
Консистенція	Однорідна, рівномірно протерта, пюреподібна маса, без насіння, плодоніжок і листя, без грубих частинок волокон
Смак і запах	Смак і запах добре виражені, властиві гарбузі, без сторонніх присмаків і запахів.
Колір	однорідний жовто-помаранчевий колір, властивий зрілим плодам
Масова частка сухих речовин, % не менше	9,7±1,0
Сторонні домішки	Не виявлено
Масова частка титруємих кислот, %	0,11±0,01
pH-активна кислотність	5,83±0,01

Дослідження 4-х зразків ягідно-плодового наповнювача оцінювали кожен з показників за 10-ти бальною шкалою (рис. 3).

Дослідження свідчать про те, що всі зразки ягідно-овочевого наповнювача мають досить гарні органолептичні показники. Проте найкращими органолептичними показниками характеризувався зразок №3, у якому співвідношення між ягодами актинідії : пюре гарбуза становить 2:1.

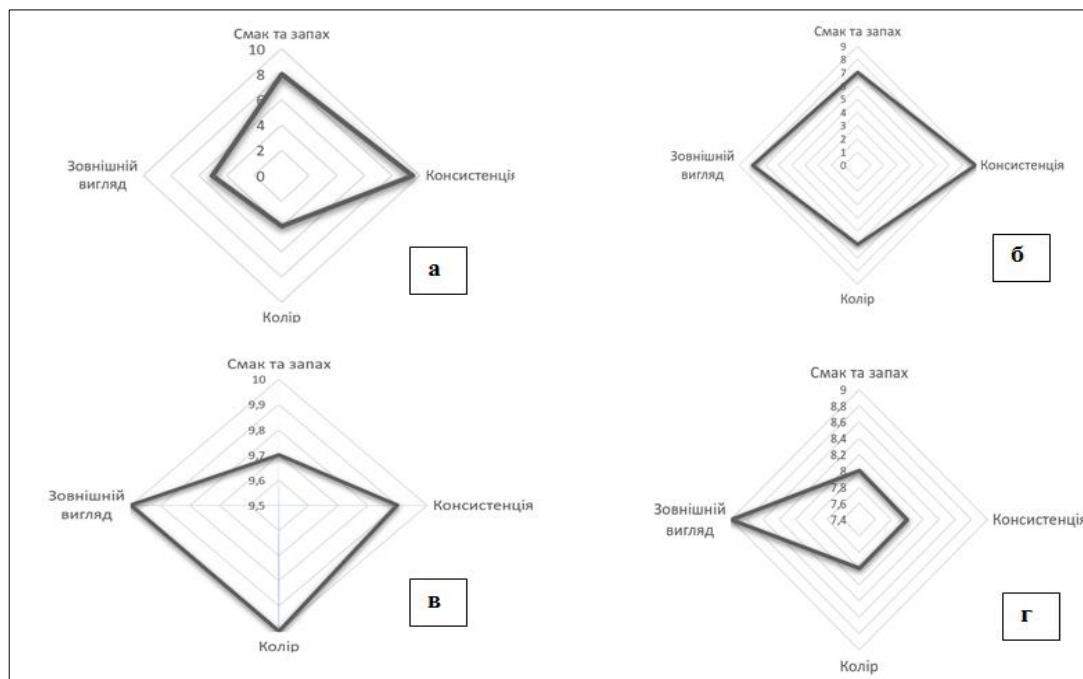


Рис. 3. Профілограма органолептичної оцінки ягідно-овочевого наповнювача
(а – зразок 1, б – зразок 2, в – зразок 3, г – зразок 4)

Відповідно до проведених досліджень запропоновано технологічну схему отримання ягідно-овочевого наповнювача, який містить наступні технологічні процеси.

Інспекція. Плоди і ягоди інспектують за якістю, відбираючи при цьому некондиційні і недостиглі екземпляри.

Миття плодів і ягід. Овочі мють послідовно в барабанній і вентиляторній мийних машинах. Після мийки піддають інспекції на стрічковому транспортері і споліскують під душем. Ягоди мють на струшувальній мийній машині або під душем.

Дроблення. Процес дроблення застосовують для отримання однорідної маси і полегшення бланшування плодової частини гарбуза. Ягоди не дроблять.

Основні стадії приготування ягідно-овочевого наповнювача.

Подрібнення (протирання). Бланшовану масу овочів або ягід направляють на подрібнення з діаметром сит 1,5 і 0,8 мм. Актинідію слід подрібнювати з використанням сит 1,2–1,5 мм для отримання зернистої маси і збереження насіння у актинідії, які надають біологічну цінність і своєрідну пікантність готовому продукту.

Бланшування. Подрібнений гарбуз бланшують гострою парою в ошпарювачах за температури 98°C до розм'якшення, але не більше 3–4 хвилин. Недостиглі ягоди бланшують 1–2 хвилини гострою парою.

Підготовка фруктози і пектину. Фруктозу і пектин просівають через просіювачі з магнітним уловлювачем з розміром отворів сит не більше 3 мм. Потім підготовлені фруктозу і пектин відповідно до рецептури перемішують (для прискорення процесу з'єднання пектину) і вводять в пюре за температури не вище 40°C за постійного перемішування. Набухання. Залишити пюре з фруктозо-пектиноюю сумішшю на 1 годину.

Фінішування. Проводять з метою надання однорідності. Фінішування проводять з використанням протиральної машини з діаметром-сита 0,8 мм.

Змішування: Згідно рецептурі два види підготовленого пюре у співвідношенні ягоди актинідії : пюре гарбуза – 2:1 змішуються у змішувачі.

Фасування та пакування. Фасування проводиться за допомогою наповнювача в попередньо підготовлену тару.

Деаерація і підігрів. Деаерацію проводять після змішування і фінішування, з метою

видалення повітря з продукту і запобігання.

Оцінку отриманого наповнювача проводили за біохімічним складом, зокрема за показниками масової частки розчинних сухих речовин, вуглеводним складом, вмістом органічних кислот, сумарним вмістом харчових волокон, антиоксидантну активність, вмістом вітаміну С і Р-активних катехінів (рис. 4, 5).

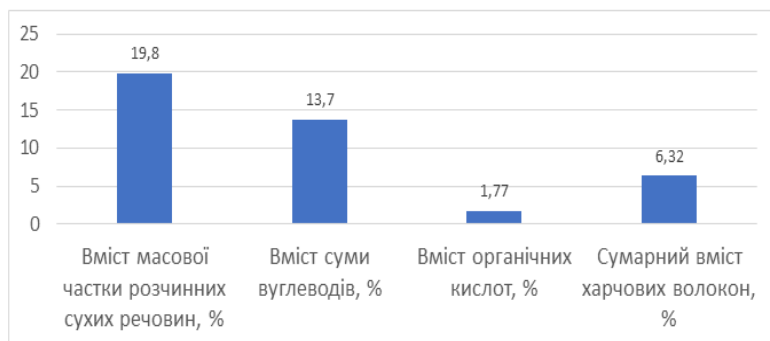


Рис. 4. Біохімічний склад ягідно-овочевого наповнювача

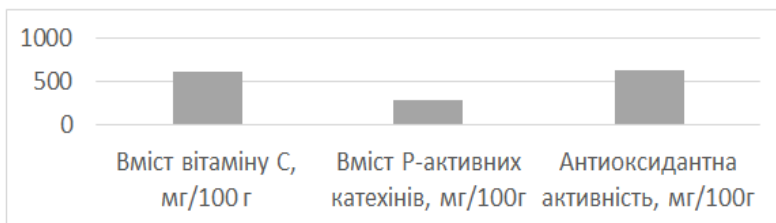


Рис. 5. Показники антиоксидантної активності ягідно-овочевого наповнювача

Відповідно до запропонованої технології виробництва та дослідженого співвідношення складових компонентів ягідно-овочевий наповнювач володіє підвищеною антиоксидантною активністю. Антиоксидантна активність має досить високий показник, що пов'язано з вмістом вітаміну С у ягодах актинїдії.

Для встановлення раціональної кількості наповнювача до морозива в лабораторних умовах було виготовлено зразки морозива з різним вмістом наповнювача. Підготовлені зразки морозива були представлені на дегустаційну

комісію, згідно з положенням «Про дегустаційну комісію з оцінки якості продукції».

Визначення показників якості продукції проводили в такій послідовності: зовнішній (товарний) вигляд; – колір цілого продукту, колір (малюнку) на розрізі – смак, запах (аромат) – консистенція та вміст добавок у морозиві.

Загальна оцінка якості зразка розраховується як середнє арифметичне значення оцінок членів ДК, що приймають участь в оцінці, з точністю до першого знака після коми.

Таким чином була проведена дегустація зразків морозива, зразок №1 – 5% наповнювача, зразок №2 – 10% наповнювача, зразок №3 – 15% наповнювача, з оформленням дегустаційного листа (табл. 4, рис. 6).

Таблиця 4

Дегустаційний лист

Найменування продукції	Смак та запах	Консистенція	Колір	Зовнішній вигляд
Зразок №1	7	9,5	6	8,5
Зразок №2	10	10	10	10
Зразок №3	8,5	9,5	8	9,5

В отриманих зразках визначали ступінь збитості та опір таненню. Результати досліджень наведені на рис. 7 та рис. 8.

Так, показник збитості дослідних зразків був у межах 59–71%. При цьому викорис-

тання рослинного наповнювача призводить до підвищення збитості, а отже і якості готового продукту.

Опір таненню, перш за все, має дуже важливе значення для зберігання гарних органолептичних показників морозива, тому що воно має високу температуру при виході з фризери (рис. 8).

Таким чином, використання у якості ягідно-овочевого наповнювача сприяє підвищенню якості готового продукту. Показники якості за кількості наповнювача в рецептурі продукту 10% є найкращими, що відповідає результатам сенсорної оцінки.

Таким чином виходячи з оцінки зразків морозива з різними кількостями наповнювача, оптимальна доза наповнювача в десерті замороженому 10%.

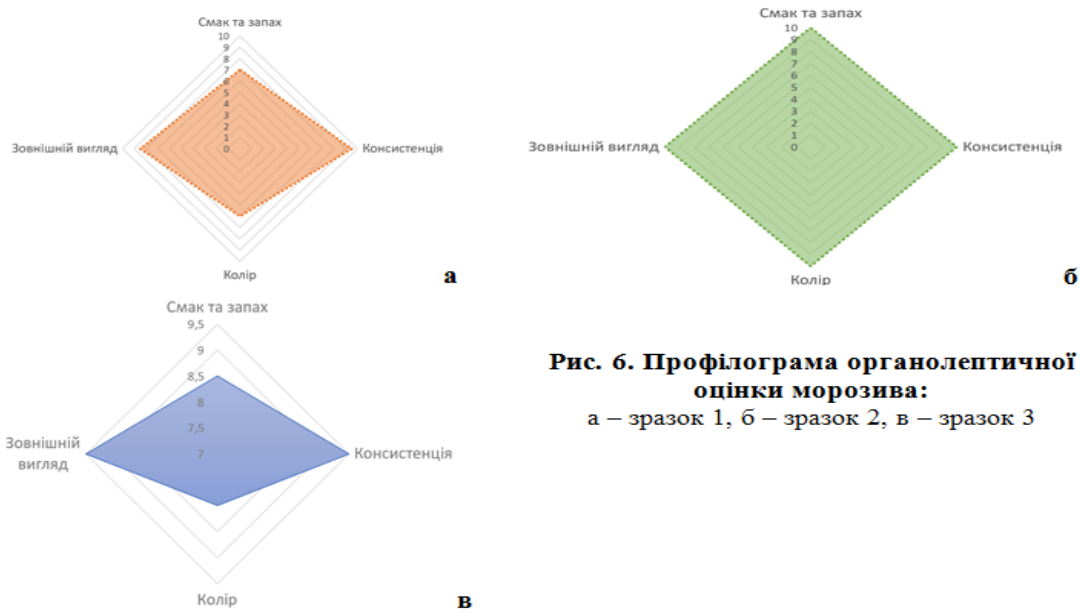


Рис. 6. Профілограма органолептичної оцінки морозива:
а – зразок 1, б – зразок 2, в – зразок 3

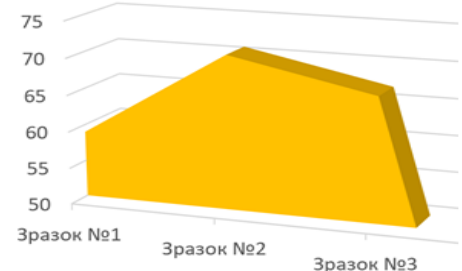


Рис. 7. Показники збитості морозива, %

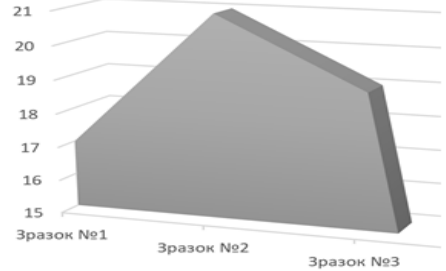


Рис. 8. Опір танення морозива, хв.

Органолептичні показники морозива за вмісту ягідно-овочевого наповнювача в кількості 10% висвітлено в таблиці 5. За фізико-хімічними показниками морозиво повинно відповідати нормам, що наведені в табл. 6. За мікробіологічними показниками морозиво повинно відповідати вимогам, зазначеним у табл. 7.

Зберігання морозива на підприємствах-виробниках і холодокомбінатах здійснюється у камерах за температури, що не перевищує мінус 14⁰С. Підприємство-виробник може встановлювати строк придатності до споживання певного виду морозива за встановленим порядком. Гарантійний строк зберігання морозива (строк придатності до споживання) становить не більше 12 місяців з дати виготовлення.

Таблиця 5

Органолептичні показники морозива

Найменування показника	Значення
Смак і запах	Чистий, молочний, солодкий, з присмаком ягід актинїдії. Без сторонніх присмаків і запахів.
Консистенція	Однорідна, збита. З дрібними включеннями наповнювача, хороша стійкість піни.
Колір	Однорідний по всій масі. Рівномірний від світло-зеленого до світло-помаранчевого.

Таблиця 6

Фізико-хімічні показники морозива

Показник	Значення
Масова частка сухих речовин, %	28
Масова частка загального жиру, %	5,0
Масова частка загальних цукрів, %	14
Масова частка СОМО, %	11
Кислотність, ⁰ T	57

Мікробіологічні показники морозива

Назва показника	Норма для морозива
Кількість мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів, КУО в 1г продукту, не більше	$1 \cdot 10^5$
Бактерії групи кишкових паличок (колі-форми), в 0,01г продукту	Не допускають
Кількість мезофільних аеробних та факультативно-анаеробних мікроорганізмів, КУО в 1г продукту, не більше	$1 \cdot 10^5$
Бактерії групи кишкових паличок (колі-форми), в 0,01г продукту	Не допускають
Патогенні мікроорганізми, в т.ч. бактерії роду Сальмонела, в 25г продукту	Не допускають
Staphylococcus aureus, в 1 г продукту	Не допускають

Висновки.

1. Розроблено технологію підготовки ягід актинідії та гарбузового пюре. За результатами органолептичних досліджень встановлено співвідношення складових компонентів у складі наповнювача. Найкращими органолептичними показниками характеризувався зразок у якому співвідношення між ягодами актинідії : пюре гарбуза становить 2:1.

2. Відповідно до запропонованої технології виробництва та дослідженого співвідношення складових компонентів ягідно-овочевий наповнювач володіє підвищеною антиоксидантною активністю. Антиоксидантна активність має досить високий показник, що пов'язано з вмістом вітаміну С у ягодах актинідії.

5. Показники якості за кількості наповнювача в рецептурі продукту 10% є найкращими, що відповідає результатам сенсорної оцінки, дослідженню показників збитості морозива та опору танення.

Бібліографія

- Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення. Частина 1. За ред. О. І. Черевка, М. І. Пересічного. Х.: ХДУХТ, 2017. 940 с.
- Менафова Ю. В. Актуальні питання харчової хімії. Краматорськ: ДДМА, 2019. 64 с.
- Денисовець Т. М., Квак О. В. Аспекти раціонального харчування: навчальний посібник. Полтава: Астроя, 2023. 110 с.
- Ракша-Слюсарева О. А. Харчові добавки. Донецьк: ДонНУЕТ, 2014. 552 с.
- Новгородська Н. В., Берник І. М., Разанова О. П., Савінок О. М. Січені напівфабрикати з рослинною сировиною. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького. Серія «Харчові технології». 2023. Т. 25. № 100. С. 14–19. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f10003>.
- Соломон А. М., Берник І. М., Бондар М. М. Значення функціональних кисломолочних напоїв в дієтичному та профілактичному харчуванні. Продовольчі ресурси. 2021. Т. 9. № 16. С. 180–191. <https://doi.org/10.31073/foodresources2021-16-17>.
- Берник І. М., Овсієнко С. М., Новгородська Н. В., Разанова О. П. Технологія кисломолочного напою з амарантовим борошном. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія «Харчові технології». 2023. Т. 25. № 100. С. 67–73. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f10011>.
- Півоваров О. А., Ковальова О. С., Кошулько В. С. Інноваційний інжиніринг в окремих галузях харчового виробництва. Дніпро: ФОП Обдимко О.С., 2022. 407 с.
- Берник І. М., Новгородська Н. В., Соломон А. М., Овсієнко С. М., Бондар М. М. Інноваційні технології харчових виробництв: монографія. Вінниця: Видавець ФОП Кушнір Ю. В., 2022. 300 с.
- Alongi M. Anese M. Re-thinking functional food development through a holistic approach. Journal of Functional Foods. 2021. Vol. 81, P. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104466>.
- Сімахіна Г., Науменко Н. Здобутки і перспективи впровадження інновацій у харчовій промисловості України. Грааль науки. 2021 № 5. С. 109–115. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.04.06.2021.021>.
- Овсієнко С. М., Берник І. М., Новгородська Н. В. Якість йогурту при використанні пробіотичних заквасок і рослинного наповнювача. Науковий вісник Львівського національного

університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія «Харчові технології». 2023. Т. 25. № 100. С. 53–59. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f10009>.

13. Савченко О. А., Грек О. В., Красуля О. О. Технологія виробництва молочних продуктів спеціального призначення. Київ; ЦП Компрінт, 2017. 218 с.

14. Берник І. М., Новгородська Н. В. Морозиво для оздоровчого харчування. Продовольчі ресурси. 2022. Т. 10. № 19. С. 47–57. <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-05>.

15. Павлюк Р. Ю., Погарська В. В. Берестова А. А., Максимова Н. П., Юрченко І. С. Інноваційні технології розробки нових видів морозива для оздоровчого харчування. Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі. 2011. №2 (7) С. 36–44.

16. Новгородська Н. В., Берник І. М. Розробка технології сиркових паст з харчовими волокнами. Продовольчі ресурси. 2022. Т. 10. № 18. С. 100–108. <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-18-10>.

17. Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення. Ч.2: монографія. О. І. Черевко, М. І. Пересічний, С. М. Пересічна та ін.; за ред. О. І. Черевка, М. І. Пересічного. Харків: ХДУХТ, 2017. 591 с.

18. Сухенко Ю. Г., Поліщук Г. Є., Сарана В. В. Наукове і технічне забезпечення виробництва морозива. Монографія. К.: НУБіП України, 2019. 299 с.

19. Типова технологічна інструкція з виробництва морозива молочного, вершкового, пломбіру; плодово-ягідного, ароматичного, щербету, льоду; морозива з комбінованим складом сировини: ТП 31748658-1-2007 до ДСТУ 4733:2007, 4734:2007, 4735:2007. [Чинна від 2008-01-01]. К.: Асоціація українських виробників «Українське морозиво та заморожені продукти», 2007. 100 с.

20. Бартковський І. І., Поліщук Г. Є., Шарахматова Т. Є. Технологія морозива. К.: Фенікс, 2010. 248 с.

21. Вежлівцева С. П., Ряба О. П. Аналіз якості морозива пломбір на споживчому ринку України. Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". 2019. №1 (63). Т. 3. С. 7–10.

22. Трубінова А. А. Розроблення безлактозного концентрату маслянки із заданим складом нутрієнтів. Дис. канд. техн. наук 05.18.04. Одеса. 2019. С. 214.

23. Огляд ринку українського морозива на другому році війни: вистачить всім, був би попит. <https://delo.ua/business/oglyad-rinku-ukrayinskogo-moroziva-na-drugomu-roci-viini-vistacit-vsim-buv-bi-popit-419950/> (дата звернення: 18.12.2023).

24. Сливка Н. Б., Білик О. Я., Дроник Г. В., Наговська В. О. Дослідження якісних показників морозива парфе з овочевими наповнювачами. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія «Харчові технології». 2021. Т. 23. № 96. С. 76–81.

25. Sapiga V., Polischuk G., Osmak T., Mykhalevych A., Maslikov M. Scientific explanation of the composition and technological modes of manufacture of dairy ice cream with vegetable puree. Ukrainian journal of food science. 2019. Vol. 7. Iss. 1. P. 83–91. <https://doi.org/10.24263/2310-1008-2019-7-1-10>.

26. Бреус Н. М., Грибков С. В., Поліщук Г. Є., Сєдих О. Л. Розроблення математичного апарату експертної системи для моделювання рецептур морозива із заданими показниками якості. Наука та інновації. 2019. Т. 15. № 5. С. 62–72.

27. Pavlyuk R., Pogarska V., Pavlyuk V., Pogarskiy A., Kakadii I., Stukonozhenko T., Telenkov O. The development of new method of production of healthy ice-cream-sorbet of fruits and vegetables with a record bas content. Eureka: Life Sciences. 2018 № 6. P. 33–40. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2018.00805>.

28. Білик О. Я., Сливка Н. Б., Наговська В. О., Михайлицька О. Р. Розробка рецептури морозива з продуктами переробки фініків. Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С. З. Гжицького. Серія «Харчові технології». 2021. Т. 23. № 95. С. 51–56.

29. Берник І. М., Фаріонік Т. В., Новгородська Н. В. Ветеринарно-санітарна експертиза продуктів тваринного та рослинного походження: навч. посіб. Вінниця: Видавничий центр ВНАУ, 2020. 232 с.

30. Соломон А. М., Казмірук Н. М., Тузова С. Д. Мікробіологія харчових виробництв: навч. посіб. Вінниця: ПВВ ВНАУ, 2020. 312 с.

31. Рудакова Т. В., Мінорова А. В., Наріжний С. А. Застосування системи НАССР для виробництва морозива з функціональними інгредієнтами Інноваційний розвиток харчової індустрії: 36. наук. праць за матеріалами VIII Міжнар. наук.-практ. конф. 23 грудня 2021 р. Інститут продовольчих ресурсів НААН. 2021. С. 93–96.

References

1. Innovatsiini tekhnolohii kharchovoi produktsii funktsionalnoho pryznachennia [Innovative technologies of functional food products]. Chastyna 1. by the editor O. I. Cherevka, M.I. Peresichnoho. Kh.: KhDUKhT. 2017. 940. [in Ukrainian].

2. Mienafova, Yu. V. (2019). Aktualni pytannia kharchovoi khimii. [Current issues of food chemistry]. Kramatorsk: DDMA. 64. [in Ukrainian].
3. Denysovets, T. M., Kvak, O. V. (2023). Aspekty ratsionalnogo kharchuvannia: navchalnyi posibnyk. [Aspects of rational nutrition: a study guide]. Poltava: Astraia. 110. [in Ukrainian].
4. Raksha-Sliusareva, O. A. (2014). Kharchovi dobavky. [Nutritional supplements]. Donetsk: DonNUET. 552. [in Ukrainian].
5. Novhorodska, N. V., Bernyk, I. M., Razanova, O. P., Savinok, O. M. (2023). Sicheni napivfabrykaty z roslynnoi syrovynoiu. [Chopped semi-finished products with vegetable raw materials.]. Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnogo universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni S.Z. Gzhytskoho. Seriiia «Kharchovi tekhnolohii». [Scientific Bulletin of S.Z. Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology. Gzhitskyi. «Food technologies» series]. T. 25. № 100. 14–19. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f10003>. [in Ukrainian].
6. Solomon, A. M., Bernyk, I. M., Bondar, M. M. (2021). Znachennia funktsionalnykh kyslomolochnykh napoiv v diietychnomu ta profilaktychnomu kharchuvanni. [The value of functional fermented milk drinks in dietary and preventive nutrition]. Prodovolchi resursy. [Food resources]. T. 9. № 16. 180–191. <https://doi.org/10.31073/foodresources2021-16-17>. [in Ukrainian].
7. Bernyk, I. M., Ovsienko, S. M., Novhorodska, N. V., Razanova, O. P. (2023). Tekhnolohiia kyslomolochnoho napoiu z amarantovym boroshnom. [Technology of fermented milk drink with amaranth flour]. Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnogo universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni S.Z. Gzhytskoho. Seriiia «Kharchovi tekhnolohii». [Scientific Bulletin of S.Z. Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology. Gzhitskyi. «Food technologies» series.]. T. 25. № 100. 67–73. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f10011>. [in Ukrainian].
8. Pivovarov, O. A., Kovalova, O. S., Koshulko, V. S. (2022). Innovatsiinyi inzhynirynh v okremykh haluziakh kharchovoho vyrobnytstva. [Innovative engineering in certain branches of food production]. Dnipro: FOP Obdymko O. S. 407. [in Ukrainian].
9. Bernyk, I. M., Novhorodska, N. V., Solomon, A. M., Ovsienko, S. M., Bondar, M. M. (2022). Innovatsiini tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv: monohrafiia. [Innovative technologies of food production: monograph]. Vinnytsia: Vydavets FOP Kushnir Yu. V. 300. [in Ukrainian].
10. Alongi, M. Anese, M. (2021). Re-thinking functional food development through a holistic approach. Journal of Functional Foods. Vol. 81. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2021.104466>.
11. Simakhina, H., Naumenko, N. (2021). Zdobutky i perspektyvy vprovadzhennia innovatsii u kharchovii promyslovosti Ukrainy. [Achievements and prospects of introducing innovations in the food industry of Ukraine]. Hraal nauky. [The grail of science]. № 5. 109–115. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.04.06.2021.021>. [in Ukrainian].
12. Ovsienko, S. M., Bernyk, I. M., Novhorodska, N. V. (2023). Yakist yohurtu pry vykorystanni probiotychnykh zakvasok i roslynnoho napovniuvacha. [Yogurt quality when using probiotic starters and vegetable filler.]. Naukovyi visnyk Lvivskoho natsionalnogo universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni S.Z. Gzhytskoho. Seriiia «Kharchovi tekhnolohii». [Scientific Bulletin of S.Z. Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology. Gzhitskyi. «Food technologies» series]. T. 25. № 100. 53–59. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f10009>. [in Ukrainian].
13. Savchenko, O. A., Hrek, O. V., Krasulia, O. O. (2017). Tekhnolohiia vyrobnytstva molochnykh produktiv spetsialnogo pryznachennia. [Production technology of special purpose dairy products]. Kyiv; TsP Komprint. 218. [in Ukrainian].
14. Bernyk, I. M., Novhorodska, N. V. (2022). Morozyvo dlia ozdorovchoho kharchuvannia. [Ice cream for health food]. Prodovolchi resursy. [Food resources]. T. 10. № 19. 47–57. <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-05>. [in Ukrainian].
15. Pavliuk, R. Iu., Poharska, V. V., Berestova, A. A., Maksymova, N. P., Yurchenko, I. S. (2011). Innovatsiini tekhnolohii rozrobky novykh vydiv morozyva dlia ozdorovchoho kharchuvannia. [Innovative technologies for the development of new types of ice cream for healthy nutrition]. Prohresyvnii tekhnika ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv restorannoho hospodarstva i torhivli. [Progressive equipment and technologies of food production, restaurant industry and trade]. № 2 (7). 36–44. [in Ukrainian].
16. Novhorodska, N. V., Bernyk, I. M. (2022). Rozrobka tekhnolohii syrkovykh past z kharchovymy voloknamy. [Development of the technology of cottage cheese pastes with food fibers]. Prodovolchi resursy. [Food resources]. T. 10. № 18. 100–108. <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-18-10>. [in Ukrainian].
17. Innovatsiini tekhnolohii kharchovoi produktsii funktsionalnogo pryznachennia. [Innovative technologies of functional food products]. Ch.2: monohrafiia. O. I. Cherevko, M. I. Peresichnyi, S. M. Peresichna ta in.; za red. O. I. Cherevka, M. I. Peresichnoho. Kharkiv: KhDUKhT, 2017. 591. [in Ukrainian].

18. Sukhenko, Yu. H., Polishchuk, H. Ie., Sarana, V. V. (2019). Naukove i tekhnichne zabezpechennia vyrobnytstva morozyva: monohrafiia. [Scientific and technical support of ice cream production: monograph]. K.: NUBiP Ukrainy. 299. [in Ukrainian].
19. Typova tekhnolohichna instrukttsiia z vyrobnytstva morozyva molochnoho, vershkovoho, plombiru; plodovo-yahidnoho, aromatychnoho, shcherbetu, lodu; morozyva z kombinovanyim skladom syrovyny. [Typical technological instructions for the production of milk, cream, and filling ice cream; fruit and berry, aromatic, sherbet, ice; ice cream with a combined composition of raw materials]. TTI 31748658-1-2007 do DSTU 4733:2007, 4734:2007, 4735:2007. [Chynna vid 2008-01-01]. K.: Asotsiatsiia ukrainskykh vyrobnykiv «Ukrainske morozyvo ta zamorozheni produkty», 2007. 100. [in Ukrainian].
20. Bartkovskiy, I. I., Polishchuk, H. Ye., Sharakhmatova, T. Ye. (2010). Tekhnolohiia morozyva. [Ice cream technology]. K.: Feniks. 248. [in Ukrainian].
21. Vezhlyvtseva, S. P., Riaba, O. P. (2019). Analiz yakosti morozyva plombir na spozhyvchomu rynku Ukrainy. [Analysis of the quality of plombir ice cream on the consumer market of Ukraine]. Mizhnarodnyi naukovi zhurnal «Internauka». [International scientific journal «Internauka»]. №1 (63). T. 3. 7-10. [in Ukrainian].
22. Trubnikova, A. A. (2019). Rozroblennia bezlaktoznoho kontsentratu maslianky iz zadanyim skladom nutriientiv. [Development of a lactose-free buttermilk concentrate with a specified composition of nutrients]. Dys. kand. tekhn. nauk 05.18.04. Odesa. 214. [in Ukrainian].
23. Ohliad rynku ukrainskoho morozyva na druhomu rotsi viiny: vystachyt vsim, buv by popyt. [Overview of the Ukrainian ice cream market in the second year of the war: there would be enough for everyone, there would be demand]. <https://delo.ua/business/oglyad-rinku-ukrayinskogo-moroziva-na-drugomu-roci-viiny-vistacit-vsim-buv-bi-popit-419950/> (date of access: 18.12.2023). [in Ukrainian].
24. Slyvka, N. B., Bilyk, O. Ya., Dronyk, H. V., Nahovska, V. O. (2021). Doslidzhennia yakisnykh pokaznykiv morozyva parfe z ovochevymy napovniuvachamy. [Study of quality parameters of ice cream parfait with vegetable fillers]. Naukovi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni S.Z. Gzhyskoho. Seriia «Kharchovi tekhnolohii». [Scientific Bulletin of S.Z. Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology. Gzhitskyi. «Food technologies» series]. T. 23. № 96. 76-81. [in Ukrainian].
25. Sapiga, V., Polischuk, G., Osmak, T., Mykhalevych, A., Maslikov, M. (2019). Scientific explanation of the composition and technological modes of manufacture of dairy ice cream with vegetable puree. Ukrainian journal of food science. Vol. 7. Iss. 1. 83–91. <https://doi.org/10.24263/2310-1008-2019-7-1-10>.
26. Breus, N. M., Hrybkov, S. V., Polishchuk, H. Ie., Siedykh, O. L. (2019). Rozroblennia matematychnoho aparatu ekspertnoi systemy dlia modeliuvannia retseptur morozyva iz zadanyimi pokaznykamy yakosti. [Development of a mathematical apparatus of an expert system for modeling ice cream recipes with specified quality indicators]. Nauka ta innovatsii. [Science and innovation]. T. 15. № 5. 62–72. [in Ukrainian].
27. Pavlyuk, R., Pogarska, V., Pavlyuk, V., Pogarskiy, A., Kakadii, I., Stukonozhenko, T., Telenkov, O. (2018). The development of new method of production of healthy ice-cream-sorbet of fruits and vegetables with a record bas content. Eureka: Life Sciences. № 6. 33–40. <https://doi.org/10.21303/2504-5695.2018.00805>.
28. Bilyk, O. Ya., Slyvka, N. B., Nahovska, V. O., Mykhailytska, O. R. (2021). Rozrobka retseptury morozyva z produktamy pererobky finikiv. [Development of an ice cream recipe with date processing products]. Naukovi visnyk Lvivskoho natsionalnoho universytetu veterynarnoi medytsyny ta biotekhnolohii imeni S. Z. Gzhyskoho. Seriia «Kharchovi tekhnolohii». [Scientific bulletin of S. Z. Gzhitsky Lviv National University of Veterinary Medicine and Biotechnology. «Food technologies» series]. T. 23. № 95. 51–56. [in Ukrainian].
29. Bernyk, I. M., Farionik, T. V., Novhorodska, N. V. (2020). Veterynarno-sanitarna ekspertyza produktiv tvarynnoho ta roslynnoho pokhodzhennia: navch. posib. [Veterinary and sanitary examination of products of animal and plant origin: training. manual]. Vinnytsia: Vydavnychiy tsentr VNAU. 232. [in Ukrainian].
30. Solomon, A. M., Kazmiruk, N. M., Tuzova, S. D. (2020). Mikrobiolohiia kharchovykh vyrobnytstv: navch. posib. [Microbiology of food production: training. manual]. Vinnytsia: RVV VNAU. 312. [in Ukrainian].
31. Rudakova, T. V., Minorova, A. V., Narizhnyi, S. A. (2021). Zastosuvannia systemy NASSR dlia vyrobnytstva morozyva z funktsionalnymi inhrediientamy. [Application of the HACCP system for the production of ice cream with functional ingredients]. Innovatsiinyi rozvytok kharchovoi industrii [Innovative development of the food industry]: Zb. nauk. prats za materialamy VIII Mizhnar. nauk.-prakt. konf. 23 hrudnia 2021 r. Instytut prodovolchykh resursiv NAAN. 93–96. [in Ukrainian].

УДК 664.6

ІННОВАЦІЙНІ РІШЕННЯ ЩОДО ПІДВИЩЕННЯ ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ
БОРОШНЯНИХ КОНДИТЕРСЬКИХ ВИРОБІВГетьман І. А.¹, PhD, н.с.<https://orcid.org/0000-0002-9448-9956>Науменко О. В.¹, д.т.н., с.н.с.,

зав. відділом технологій хліба та біотрансформації зернових продуктів

<https://orcid.org/0000-0002-1691-1381>Бовкун А. О.², к.т.н., доц., зав. кафедри переробки м'яса та молока<https://orcid.org/0000-0002-3174-0963>Лук'янчук І. В.¹, аспірантка<https://orcid.org/0009-0007-4876-0470>¹Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна²Інститут післядипломної освіти Національного університету харчових технологій, Київ, Україна<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-04>

Предмет. Борошняні кондитерські вироби, зокрема, кекси, мафіни, печиво з підвищеною харчовою цінністю та спеціального дієтичного призначення. **Мета.** Аналітичний огляд наукової літератури щодо використання нової нетрадиційної сировини для покращення харчової цінності борошняних кондитерських виробів. **Методи.** При написанні статті використовували аналітичні методи досліджень, а також методи причинно-наслідкового аналізу та логічного узагальнення. Аналізували інформацію з баз даних, включаючи PubMed, CrossRef, Scopus, WoS, Google Scholar, Index Copernicus. **Результати.** Встановлено, що пріоритетний напрямок розвитку кондитерської галузі на сьогодні – це рецептурні та технологічні інновації з метою розширення асортименту, підвищення харчової та біологічної цінності, зниження калорійності борошняних кондитерських виробів. Борошняні кондитерські вироби, зокрема, печиво, кекси, мафіни, пряники та крекер користуються найбільшим попитом в усіх груп населення, особливо дітей, і, відповідно, впливають на стан їх здоров'я. Вони характеризуються підвищеним вмістом вуглеводів і жирів, та містять незначну кількість біологічно – активних компонентів, обумовлює необхідність корегування їхнього хімічного складу. Інформаційно-патентний пошук показав, що асортимент сировини, яку використовують у технологіях борошняних кондитерських виробів для підвищення харчової цінності доволі різноманітний та здебільшого представлений рослинними інгредієнтами. До нетрадиційних видів сировини, що використовується у виробництві кондитерських виробів, відносяться вторинні молочні продукти, білоквмісні рослинні інгредієнти (соевий білок, ядра насіння соняшника, шрот, борошно круп'яних культур, інші види безглютенової рослинної сировини), модифіковані крохмалі, поверхнево-активні речовини, овочеві та фруктові порошки, пасти, відвари, фітокомпозиції тощо. Встановлено, що перспективним напрямом є використання побічних продуктів інших промисловостей, харчових відходів для розвитку комплексних технологій переробки сировини. **Сфера застосування результатів.** Отримані результати досліджень можуть бути використані на виробництві при моделюванні нових та корегуванні існуючих рецептур борошняних кондитерських виробів для розширення їх асортименту та розвитку ринку технологій кондитерських виробів оздоровчого та спеціального дієтичного спрямування.

Ключові слова: борошняні кондитерські вироби, сировина, технологія, хімічний склад, харчова цінність

INNOVATIVE WAYS TO IMPROVE NUTRITIVE VALUE OF FLOUR
CONFECTIONERY PRODUCTSInna Hetman¹, PhD, Junior Researcher<https://orcid.org/0000-0002-9448-9956>Oksana Naumenko¹, D-r of Sciences, Technics, Senior Research,

Head of Department of Bread Technologies and Biotransformation of Grain Products

<https://orcid.org/0000-0002-1691-1381>Alla Bovkun², PhD, Enaineerina, Associate professor,

Head of the department of Meat and Milk Processing

<https://orcid.org/0000-0002-3174-0963>

Ivanna Lukianchuk¹, Postgraduate
<https://orcid.org/0009-0007-4876-0470>

¹Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

²Institute of Postgraduate Education of the National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Subject. Flour confectionery products, in particular, muffins, cookies with increased nutritional value and special dietary purposes. **Purpose.** Analytical review of scientific literature on the use of new non-traditional raw materials for improving the nutritional value of flour confectionery products. **Methods.** Analytical methods were used to write the article, research, as well as methods of cause-and-effect analysis and logical generalization. We analyzed information from databases including PubMed, CrossRef, Scopus, WoS, Google Scholar, Index Copernicus. **Results.** It has been established that the priority direction of development of the confectionery industry today is recipe and technological innovations in order to expand the range, increase nutritional and biological value, and reduce the caloric content of flour confectionery products. Flour confectionery products, such as cookies, muffins, gingerbread and crackers, are in great demand among all population groups, especially children, and, accordingly, affect their health. They are characterized by a high content of carbohydrates and fats, and contain a small amount of biologically active components, which necessitates adjusting their chemical composition. The information and patent search showed that the range of raw materials used in flour confectionery technologies to increase nutritional value is quite diverse and mostly represented by vegetable ingredients. Non-traditional types of raw materials used in the production of confectionery include secondary dairy products, protein-containing plant ingredients (soy protein, sunflower seed kernels, meal, cereal flour, other types of gluten-free plant materials), modified starches, surfactants, vegetable and fruit powders, pastes, decoctions, herbal compositions, etc. It was found that a promising area is the use of by-products of other industries and food waste for the development of integrated technologies for processing raw materials. **Scope of results.** The products of processing hemp seed are promising raw materials for bread production. Partial replacement of the main raw material by hemp contributes to a significant increase in the content of proteins, omega-3 and omega-6 polyunsaturated fatty acids, dietary fibres, allows you to balance its dietary composition and enrich the taste sensations when consuming such bread.

Key words: flour confectionery, raw materials, technology, chemical composition, nutritional value

Постановка проблеми. Сучасний тренд здорового харчування, бажання споживачів бачити у складі виробів лише натуральні рослинні інгредієнти – один із основних та найбільш перспективних на ринку продукції кондитерської галузі. Результати численних опитувань населення свідчать, що поряд із якістю виробів, їх здатністю зберігати свіжість тривалий час, пріоритетними споживчими характеристиками є оздоровча спрямованість продуктів.

Борошняні кондитерські вироби (БКВ), зокрема: печиво, кекси, мафіни, пряники, крекер характеризуються підвищеною калорійністю та незбалансованим хімічним складом. Вони, як правило, містять значну кількість жирів, легкозасвоюваних вуглеводів, які представлені крохмалем і цукром та практично не мають корисних для здоров'я людини речовин [1].

Дефіцит мікронутрієнтів у продуктах може сприяти поступовому розвитку порушень обмінних процесів в організмі людини та появі хронічних захворювань [2]. Тому збагачення кондитерських виробів фізіологічно-активними, функціональними харчовими інгредієнтами буде сприяти превенції розвитку найпоширеніших «хвороб цивілізації» – серцево-судинних, онкологічних, діабету, ожиріння тощо. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є створення продуктів оздоровчого харчування зі зниженою калорійністю, збагачених мікронутрієнтами, незамінними амінокислотами та поліненасиченими жирними кислотами [3].

За даними науковців зниження калорійності кондитерських виробів здійснюються наступними шляхами:

- заміна висококалорійної сировини на менш калорійну, так звану баластну сировину, що не містить калорій;
- зниження кількості жиру;

- зменшення маси виробів при одночасному збільшенні їх об'єму шляхом уведення до їх складу повітря або використання піноутворювачів. Продукти харчування з більш легкою структурою та об'ємом мають меншу масу порівняно з традиційними продуктами, а відтак, і меншу калорійність;

- використання речовин середньої енергетичної ваги (лактоза, соєві пластівці, мікрокристалічна целюлоза та інші), які повільно засвоюються та забезпечують пригнічення відчуття голоду;

- введення біологічно активних речовин, які сприяють виведенню жиру та цукру, зменшенню калорійності виробів;

- часткова заміна цукру підсолоджуючими речовинами або замінниками цукру, що призводить до зниження калорійності виробів без погіршення смакових якостей;

- використання цінної рослинної сировини, що дає можливість утворювати нові рецептури виробів з цією сировиною;

- заміна одних видів сировини (цукру, жиру) на інші, відповідно до діючих рекомендацій [4, 5].

До нетрадиційних видів сировини, що використовуються у виробництві кондитерських виробів, відносяться вторинні молочні продукти, білоквмісні рослинні інгредієнти (соєвий білок, ядра насіння соняшника, шроти, борошно круп'яних культур, інші види безглютенової рослинної сировини), модифіковані крохмалі, поверхнево-активні речовини, овочеві та фруктові порошки, пасти, відвари, фітокомпозиції тощо [6].

Значний інтерес представляють продукти рослинного походження, як дешева та проста в отриманні сировина, порівняно з продуктами тваринного походження, крім того яка має більшу кількість корисних нутрієнтів у природному стані [7].

Метою роботи є аналітичний огляд наукової літератури щодо використання нетрадиційної сировини для покращення харчової цінності БКВ.

Методи дослідження. При написанні статті використовували аналітичні методи досліджень. Аналізували інформацію з баз даних, включаючи PubMed, CrossRef, Scopus, WoS, Google Scholar, Index Copernicus.

Результати та їх обговорення.

Склад кондитерських виробів особливо збіднений на харчові волокна, тому збагачення їх сировиною, що є джерелом клітковини має вагоме значення. Доведено, що харчові волокна рослинного походження мають велике значення при лікуванні ожиріння, діабету, запобігають розвитку склерозу, утворенню камінців у жовчному міхурі, захищають від дивертикульозу. За статистичними даними в країнах, де населення вживає більше харчових волокон значно рідше зустрічаються захворювання товстої кишки, в тому числі й онкологічні [8].

Аналіз публікацій щодо науково-практичного досвіду підвищення харчової цінності БКВ дозволив виділити наступні шляхи їх збагачення харчовими волокнами:

- цілісне використання сировини, що містить харчові волокна, наприклад, цілого зерна традиційних та нетрадиційних зернових культур, борошна з цільнозмеленого зерна, зернових сумішей тощо;

- додавання вторинних продуктів із високим вмістом харчових волокон (висівок, шротів і жмхив олійних та технічних культур, плодово-ягідних та овочевих порошків, паст, концентратів, бурякового жому);

- введення очищених препаратів-концентратів харчових волокон, які виділені зі злаків, вторинної або нетрадиційної рослинної сировини,

- целюлози та її похідних, мікрокристалічної целюлози, пектину, камедей, яблучних харчових волокон тощо [9,10].

Встановлено, що харчові волокна шроту зародків пшениці та бурякові волокна мають різний гранулометричний склад, за яким бурякові волокна можна віднести до дрібнодисперсних порошків, а шрот – грубодисперсних. Вони характеризуються значною

водопоглинальною та жирозв'язувальною здатністю, що дозволяє не лише прогнозувати підвищення харчової та біологічної цінності готових виробів, але й їх відмінний вплив на процеси тістоутворення [11].

Одним із перспективним напрямків є використання фруктових порошків. Так, ученими було обґрунтовано та розроблено технологію БКВ із яблучним порошком, встановлено раціональні дозування порошку для бісквіту – 10%; для пряників – 10% [12].

Розроблено технології печива зтяжного, цукрових, здобних, пряників, мармеладу на основі пюре з топінамбуру [13]. Встановлено доцільність використання чорниці, журавлини, горобини звичайної, гарбуза, яблук у виді пюре, протертого з цукром, з метою одержання нових видів печива підвищеної харчової та біологічної цінності. Використання рослинних добавок гармонізувало смак, запах і колір виробів. Показано, що біологічно активні речовини рослинної сировини разом із лимонною кислотою (як синергістом), що входили в рецептуру виробів, інгібували процеси окислювання жирової основи всіх нових видів печива [14].

Запропоновано використання пюре з кабачків, ріпи, картоплі, бананів, ананасів, манго, гуави, абрикосів у виробництві БКВ для зниження їхньої калорійності, збагачення біологічно активними речовинами та харчовими волокнами [15].

Застосування жмиху олійних культур у харчовій промисловості дозволяє збагатити хімічний склад виробів білком, ліпідами, харчовими волокнами, вітамінами та мінеральними речовинами. Зокрема, використання жмиху амаранту в якості сухого компонента дозволяє підвищити біологічну цінність, оскільки він вирізняється високим вмістом легкозасвоюваного білка (18–20%), який містить у достатній кількості всі незамінні амінокислоти [16].

Заварні пряники з додаванням 15% макухи амаранту та 11% кісткового жиру до маси борошна в тісті характеризуються підвищеною біологічною цінністю на 24,5%; такі вироби збалансовані за амінокислотним складом (амінокислотний скор за лізином становить 44,5%); за співвідношенням $\omega\text{-}3/\omega\text{-}6$ жирних кислот; мають підвищений вміст кальцію у виробах та нормалізоване співвідношення між магнієм, фосфором і кальцієм становить 1:0,65:1,65. Крім того, додані інгредієнти дають змогу поліпшити структурно-механічні властивості заварного тіста, такі як пластичність, еластичність, намокання [17].

Робота інших вчених була присвячена використанню композиції з ядер волоського горіха (70%) та кунжуту (30%) в технології пісочного печива. Визначено, що у модельній суміші шротів співвідношення Са:Mg:P наближається до оптимального і становить 0,58:1:1,52. За результатами досліджень структурно-механічних характеристик (розтяжності, відносної пружності, пластичності, еластичності), мікроструктури тіста, органолептичної оцінки та показниками хімічного складу визначено, що вміст композиції шротів 20% є раціональним щодо забезпечення показників якості випечених пісочних напівфабрикатів [18,19].

Ученими Національного університету харчових технологій була проведена робота щодо розробки рецептур та удосконалення технологій мафінів із безглютеновими видами борошна та цукрозамінниками (лактитолом, ізомальтитолом тощо), було повністю замінено пшеничне борошно на гречане, рисове. Оскільки безглютенове борошно здатне погіршувати реологічні властивості тіста, було додатково внесено картопляний крохмаль, камедь дерева тара та рожкового дерева, як структуроутворювачі та методом математичного моделювання розроблено рецептури мафінів. Щодо використання цукрозамінників зроблено висновки, що фруктоза збільшує, а глюкоза, лактитол, ізомальт зменшують вміст вільної вологи в тістових масах порівняно з цукром, тому використовувати їх у технологіях зтяжного печива та крекерів не ефективно. Також було обґрунтовано, що всі цукрозамінники, крім ізомальту, не мають негативного впливу на формування коагуляційної, коагуляційно-кристалізаційної структури тістових мас [20–22].

Варто відмітити, що закордонними науковцями також велика увага приділяється удосконаленню технології безглютенових кексів за рахунок використання рисового борошна, зокрема, коричневого рису в композиції з кокосовим борошном, кукурудзяного борошна – з солодкою картоплею, нутового борошна – з сушеною журавлиною, сорговим борошном [23,24].

Проведений аналіз виробництва харчової продукції з насіння ненаркотичних конопель показав, що в Україні воно використовується не в повному обсязі. Встановлено, що на сьогодні основними продуктами переробки насіння конопель є обрушене насіння конопель, конопляна олія, конопляне борошно, конопляні висівки та конопляний протеїн [25,26].

Науковцями розроблено рецептури кексів із заміною пшеничного борошна на конопляне і введенням олії конопель замість вершкового масла. За органолептичними та фізико-хімічними показниками (смак, запах, форма, текстура, поверхня, структура, вид у розломі), враховуючи комплексний показник якості, перевагу надано кексам із заміною 12,5% пшеничного борошна на конопляне. Зразок кексу, виготовлений лише з конопляного борошна найбільшою мірою відповідав вимогам здорового харчування за рахунок підвищеного вмісту білка (14,21%), найменшого вмісту вуглеводів (45,54%) і зниженої енергетичної цінності до 343 ккал [27,28].

Група дослідників наукової школи професора Оболкіної В.І. (Дзигар О.О. та ін.) довели ефективність застосування ферментного препарату «Alfamalt ВК 5020» та поліпшувача «Porit L» для покращення структурно-механічних властивостей листового тіста з заміною пшеничного борошна на амарантове та поліпшення споживчих властивостей виготовлених крекерів. Для створення крекерів з пікантним смаком додатково до амарантового борошна було внесено вітчизняну пряно-ароматичну фітосировину – монарду двійчасту, як природний антиоксидант, консервант та ароматизатор [29,30].

Виноградне борошно або борошно виноградних кісточок отримується шляхом помелу макухи кісточок, яка залишається після виготовлення олії. Воно має насичений коричневий колір (схожий на колір какао) і приємний смак. Борошно виноградних кісточок містить: фітостерини, амінокислоти, фосфоліпіди, вітаміни А і Е (антиоксиданти), С, В1, В2, РР, калій, фосфор, кобальт, мідь, залізо, магній. При цьому воно є низькокалорійним, оскільки практично не містить вуглеводів. Додавання у здобне печиво порошку з виноградних кісточок у кількості 15% покращує фізико-хімічні (питомий об'єм та здатність до намокання) та органолептичні показники якості виробів, збільшення концентрації добавки до 20% незначно погіршує їх [31]. Встановлено, що внесення порошку дещо знижує інтенсивність бродіння тіста. Дослідження показали, що раціональна кількість порошку виноградних кісточок складає 10% до маси борошна, оскільки таке дозування забезпечує відповідні показники якості хліба та сприяє покращенню його харчової цінності [32].

Вченими Чернігівського державного технологічного університету встановлено, що заміна частини борошна пшеничного вищого сорту на борошно сочевиці у рецептурі здобного печива підвищує біологічну цінність печива, зменшує його енергетичну цінність, підвищує стійкість жирової складової печива до окиснення, тобто збільшує термін зберігання. Показано, що заміна 15% борошна пшеничного вищого гатунку на борошно сочевиці не впливає на структурно-механічні властивості тіста [33].

Обґрунтовано доцільність та можливість використання у технології безглютенових кексів кукурудзяного та рисового борошна у співвідношенні 60...70% і 40...30%, відповідно, від загальної кількості борошняної суміші за рецептурою [34]. Запропонована технологія безглютенового кексу з використанням молочно-білкового концентрату сколотин дозволяє розширити асортимент безглютенових борошняних кондитерських виробів з підвищеною харчовою цінністю. Протирання концентрату крізь сито сприяє

утворенню дрібнодисперсної маси. Одержана маса рівномірно розподіляється у тісті, що дозволяє отримати відмінні структурні властивості тіста [35, 36].

Кероб – порошок, який виготовляють з висушених плодів ріжкового дерева. На відміну від бобів какао, вживання керобу знижує кількість цукру, оскільки коефіцієнт солодкості керобу складає 0,5–0,6 одиниць від солодкості цукру. Енергетична цінність керобу практично вдвічі нижча за какао, при цьому велика кількість калорій припадає на цукор. Як продовольча сировина кероб мало досліджений, але нині він стає перспективним інгредієнтом БКВ для заміни какао-порошку. Завдяки проведеним дослідженням було встановлено можливість використання борошна зеленої гречки на заміну пшеничного в рецептурах здобного печива. Максимально можливе його дозування без погіршення органолептичних показників готової продукції складає 60%. Доведено можливість використання цикорію та керобу для збагачення кольорової, смако-ароматичної гами виробів. Встановлено, що добавки забезпечують високі органолептичні показники здобного печива в кількості по 5% до маси борошняної суміші [37,38].

Іншими дослідженнями встановлено, що внесення 10–12% порошку керобу до рецептури кексів забезпечує найкращі показники якості. Підтверджено доцільність використання порошку керобу для збагачення кексів з гречаного борошна, що дозволяє покращити органолептичні показники, оскільки порошок керобу маскує характерний гречаний смак та аромат виробів, а також підвищує біологічну цінність продукції [39].

Іншою заміною какао в технології БКВ можуть бути відходи кавової гущі з кавомашин, які після вилучення сушать та подрібнюють. Порошок кавових відходів та екстракт кавової гущі було використано у технології мафінів з високими органолептичними показниками та антиоксидантною активністю завдяки наявності поліфенольних або неполіфенольних сполук, хлогенової кислоти, токоферолів тощо [40,41]. Такі дослідження мають додатковий позитивний ефект, а саме вирішують проблему комплексного використання сировини та зменшення викидів у довкілля, адже після варіння кави утворюється значна кількість кавових висівок.

В Україні таких досліджень обмаль, лише деякі початкові розробки десертів на рівні кав'ярень та кондитерських, при цьому кавове борошно вже починають виготовляти в невеликих обсягах, що підтверджує актуальність роботи в цьому напрямку.

Висновки. Борошняні кондитерські вироби, зокрема, печиво, крекери, мафіни та інші належать до висококалорійних харчових продуктів із низьким вмістом есенціальних речовин.

Регулювання хімічного складу таких борошняних виробів для підвищеної їхньої харчової цінності – це шлях створення продуктів нового покоління. З цією метою використовують різноманітні види як традиційної для хлібопечення сировини, так і нові маловживані види сировини, в тому числі біологічно активні добавки. У такий спосіб отримують вироби, що володіють функціональними властивостями та можуть бути використані для лікувального і профілактичного харчування.

Інформаційно-патентний пошук показав, що в технології БКВ перспективною сировиною є безглютенові види борошна (рисове, гречане, амарантове, сочевичне, кавове), шроти, вторинні молочні продукти, цукрозамінники (ізомальт, еритритол, мальтитол), ядра насіння соняшника, шроти, висівки, овочеві та фруктові порошки, пасти, відвари, пряно-ароматична рослинна сировина, кероб тощо.

Загалом менше представлено досліджень щодо використання побічних продуктів інших промисловостей, харчових відходів для розвитку комплексних технологій переробки сировини.

Пріоритетний напрямок кондитерської галузі на сьогодні – це рецептурні та технологічні інновації з метою розширення асортименту, підвищення харчової та біологічної цінності, зниження калорійності борошняних кондитерських виробів.

Бібліографія

1. Anastasova, L., Petreska-Ivanovska, T., Petkovska, R., Petrusevska-Tozi, L. Concepts, benefits and perspectives of functional dairy food products. *Macedonian Pharmaceutical Bulletin*. 2019. №02. С. 73–83. <https://doi.org/10.33320/maced.pharm.bull.2018.64.02.008>.
2. Єсауленко, А. А., Мамченко, Л. Є., Неміріч, О. В., Кузьмін, О. В., Матияшук, О. В. Удосконалення технології кексів з продуктами переробки насіння конопель. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*. 2023. № (4). С. 118–126. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.4.15>.
3. Сімакова О. О., Никифоров Р. П. Розробка новітніх технологій виробів з борошна с заданими властивостями: монографія. Кривий Ріг: ДонНУЕТ. 2018. 146 с.
4. Dewettinck K., Van Bockstaele F., Kühne B., Van de Walle D., Courtens T. M., Gellynck X. Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *Journal of Cereal Science*. 2008. №48 (2). P. 243–257. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.01.003>.
5. Naumenko O., Hetman I., Chyzh V., Gunko S., Bal-Prylypko L., Bilko M., Tsentylo L., Lialyk A., Ivanytska A., Liashenko S. Improving the quality of wheat bread by enriching teff flour. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2023. 3(11(123)). P. 33–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.279286>.
6. Shydakova-Kameniuka E., Novik A., Zhukov Y., Matsuk Y., Zaparenko A., Babich P., Oliynyk S. Evaluation of technological properties of waste waters and their effects on the quality of emulsion for a sufficient feed with liquid plastered oils. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2019. № 2/19 (88). С. 29–34. <https://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.159983>.
7. Tsisaryk, O., Musii, L., Slyvka, I., Lutsyk, I. (2024). Development technology of functional dairy product with phytocomponents. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*, 26(101), 156–163. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f10123>.
8. Кравченко М. М., Романенко Р. П., Романовська О. Л. Структурно-механічні властивості випечених бісквітних напівфабрикатів з додаванням борошна «здоров'я» та порошку керобу. *Харчова наука та технологія*, 2015. № 9 (4). С. 37–43. <https://doi.org/10.15673/2073-8684.4/2015.55869>.
9. Башта А. О., Бажай-Жежерун С. А. Використання пророщеного зерна сочевиці та гречки у технології кексів. *Scientific strategies in the context of global challenges: proceedings of the I International Scientific-Practical Conference, April, 16, 2024, Warsaw (Poland)*. 2024. P. 141–143. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/42965>.
10. Шидакова-Каменюка О. Г., Новік Г. В., Рогова А. Л., Савенко А. Д. Оцінювання впливу горіхових шротів на якість здобного печива під час зберігання. *Прогресивні техніка та технологія харчових виробництв, ресторанного господарства та торгівлі: зб. наук. праць. ХДУХТ: Харків*. 2018. № 1 (27). С. 268–280. <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/578>.
11. Бачинська Я. О., Непочатих Т. А., Бородай Д. В. Шляхи підвищення біологічної цінності кондитерських виробів та вдосконалення технології виробництва печива з використанням шротів. *Зернові продукти і комбікорми*. 2013. № 3. С. 27–30.
12. Касабова, К. Р., Самохвалова, О. В., Олійник, С. Г. Характеристика нових джерел харчових волокон для збагачення борошняних кондитерських виробів. *Східноєвропейський журнал передових технологій*. 2013. № 6 (11). С. 8–13. <https://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2013.18861>.
13. Malouf T., Tarek M. *The Hummingbird Bakery Cupcakes & Muffins*. London: Ryland Peters & Small, 2012. 64 p.
14. Delia B. *Food Carotenoids: Chemistry, Biology and Technology*. Wiley-Blackwell. 2015. 328 p.
15. Chandan R. Kilara A. *Dairy Ingredients for Food Processing*. Wiley-Blackwell. 2011. 604 p.
16. Sudha M. X., Vetrimani R., Leelavathi K. Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chem*. 2007. Vol. 100. 4. P. 1365–1370.
17. Матияшук, О. В., Фурманова, Ю. П., П'яних, С. К. Використання амарантового борошна в технології виробництва бісквітних напівфабрикатів. *Науковий погляд в майбутнє*. 2017. № 6. С. 52–58. <https://doi.org/10.30888/2415-7538.2017-06-02-103>.
18. Кравченко М. Ф., Михайлик В. С. Research into the structural-mechanical properties of short bread dough with oil seed meals. *Східно-європейський журнал передових технологій*. 2019. № 3/11 (89). С. 45–54. <https://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.170617>.
19. Кравченко М. Ф., Михайлик В. С., Марусяк Т. М. Якість пісочного печива з композицією шротів. *Товари і ринки*. 2021. № 3. С. 141–150. [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2021\(39\)11](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2021(39)11).
20. Дорохович В. В. Борошняні кондитерські вироби для хворих на цукровий діабет із застосуванням продуктів переробки моркви. *Наукові праці НУХТ*. 2020. № 26, 1. С. 238–244. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/32118>.

21. Дорохович В. В., Абрамова А. Г. Використання цукрозамінників нового покоління в технології бісквітів спеціального призначення. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. 2013. № 44 (1). С. 153–157.
22. Дорохович В. В., Долюк М. Ю., Лукаш К. Р. Визначення можливості та доцільності застосування мальтитолу і борошна амаранту в технології цукрового печива. Наукові праці НУХТ. 2021. № 27, 2. С. 112–120. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/34203>.
23. Hattner E. K., Bello F. Dal, Arendt E. K. Rheological properties and bread making performance of commercial wholegrain oat flour. *Journal of Cereal Science*. 2010. № 52. С. 65–71. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2010.03.004>.
24. Гордієнко Л. В., Жидецька І. В. Вплив співвідношення рецептурних компонентів на реологічні властивості емульсії для пісочного тіста. Наукові праці Одеської національної академії харчових технологій. 2010. Т. 1. Вип. 38. С. 214–217.
25. Pojić, M., Dapčević Hadnadev, T., Hadnadev, M., Rakita, S., Brlek, T. Bread Supplementation with Hemp Seed Cake: A By-Product of Hemp Oil Processing. *J. Food Qual.* 2015. № 38. Р. 431–440. <https://doi.org/10.1111/jfq.12159>.
26. Kornpointner C., Martinez A., Marinovic S., Haselmair-Gosch C., Jamnik P., Schröder K., Löffke C., Halbwirth H. Chemical composition and antioxidant potential of Cannabis sativa L. roots. *Ind. Crop Prod.* 2021. № 165:113422. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113422>.
27. Болховітіна О. І., Каменюка Л. А. Вплив борошна з насіння конопель на показники якості пшеничного хліба. Розвиток харчових виробництв, ресторанного та готельного господарств і торгівлі: проблеми, перспективи, ефективність: тези доп. Міжнар. наук-практ. конф., м. Харків, 18 трав. 2021 р. Харків: ХДУХТ. 2021. Ч. 2. С. 45–46.
28. Liliana B. C., Livia A., Laura M. Effects of hemp flour, seeds and oil additions on bread quality. *J. Eng. Res. Appl.* 2018. № 8. Р. 73–78. <https://doi.org/10.9790/9622-0805037378>.
29. Rakhmetov D., Obolkina V., Nosenko T., Dzyhar O. Chemical composition of fenugreek hay leaves. *Ukrainian Food Journal*. 2018. № 7 (3). С. 397–408. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2018-7-3-5>.
30. Оболкіна В. І., Носенко Т. Т., Дзигар О. О., Рахметов Д. Б. Вивчення вмісту біологічно активних сполук у листі монарди двійчастої з метою використання пряно-ароматичної фітосировини при створенні крекера з подовженим терміном придатності. Наукові праці Національного університету харчових технологій. 2017. № 23 (6). С. 127–137.
31. Самохвалова, О. В., Гревцева, Н. В., Брикова, Т. М., Григоренко, А. М. Вплив порошку з виноградинних кісточок на якість здобного печива. Східноєвропейський журнал передових технологій. 2016. №3/11. С. 61–66. <https://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.69838>
32. Касабова К. Р., Гревцева Н. В., Шидакова-Каменюка О. Г., Омельченко О. В. Використання вторинних продуктів виноробного та пивоварного виробництв у технології здобного печива. Обладнання та технології харчових виробництв. 2017. Вип. 35. С. 5–11. <http://elibrary.donnue.edu.ua/id/eprint/1449>.
33. Челябієва, В. Н., Турінова, І. В. Використання борошна сочевиці у рецептурі печива. Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: технічні науки. 2019. 30 (69), 2, 1. 91–94.
34. Юдіна, Т. І., Безрученко, О. М., Павлюченко, В. О. Обґрунтування складу борошняної сировини у технології безглютенових кексів. Пр. Тавр. держ. агротехнол. ун-ту. Мелітополь: ТДАТУ. 2019. № 19, 1. С. 179–186. <https://doi.org/10.31388/10.31388/2078-0877>.
35. Wang Y. Y., Norajit K., Ryu G. H. Influence of extruded hemp-rice flour addition on the physical properties of wheat bread. *Preventive Nutrition and Food Science*. 2011. № 16 (1). Р. 62–66. <https://doi.org/10.3746/jfn.2011.16.1.062>.
36. Gujral Hardeep Singh, Mehta Sundeep, Samra Imaan Singh, Goyal Pankaj. Effect of wheat bran, coarse wheat flour, and rice flour on the instrumental texture of cookies. *Int. J. Food Prop.* 2003. Vol. 6. № 2. Р. 329–340.
37. Ніколаєва Д. С., Рогова А. Л. Доцільність використання кербу в технології борошняних кондитерських виробів. «Актуальні питання розвитку економіки, харчових технологій та товарознавства»: матер. міжнарод. наук. студентської конференції за підсумками науково-дослідних робіт студентів за 2019 р., 7–8.04.2020. Полтава: ПУЕТ. 2020. С. 278–279.
38. Korenets Yu., Goriainova Iu., Nykyforov R. Substantiation of feasibility of using black chokeberry in the technology of products from shortcake dough. *Eastern European Journal of Enterprise technologies. Technology and equipment of food production*. 2017. № 2. 10 (86). С. 25–31. <https://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2017.98409>.
39. Городецька І. М., Камбулова Ю. В., Кохан О. О., Олексієнко Н. В. Якість здобного печива із застосуванням борошна зеленої гречки, цикорію, кербу. Харчова промисловість. 2020. № 28. С. 54–61. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/41317>.

40. Lee Shin-ho, Kim Byeong-guk, Park Na-young. Method for producing muffin using hot water extract of coffee residue with improved antioxidant activity and taste. Suncheon National University Industry-Academic Cooperation Group, Pat. No.: KR101799817B1. K.R.: A21D13/04. Заявл.: 12.10.2015. Опубл.: 20.12.2017.

41. Davidov-Pardo G., Moreno M., Arozarena I., Marin-Arroyo M. R., Bleibaum R. N., Bruhn C. M. Sensory and Consumer Perception of the Addition of Grape Seed Extracts in Cookies. *Journal of Food Science*. 2012. Vol. 77, Issue 12. P. 430–438. 10.1111/j.1750-3841.2012.02991.

References

1. Anastasova, L., Petreska-Ivanovska, T., Petkovska, R., Petrusevska-Tozi, L. (2019). Concepts, benefits and perspectives of functional dairy food products. *Macedonian Pharmaceutical Bulletin*, 02, 73–83 <https://doi.org/10.33320/maced.pharm.bull.2018.64.02.008>.

2. Yesaulenko, A. A., Mamchenko, L. E., Nyemirich, O. V., Kuzmin, O. V., Matiyaschuk, O. IN. (2023). Improvement of the technology of cupcakes with hemp seed processing products. [Improvement of the technology of cupcakes with hemp seed processing products.]. *Taurian Scientific Herald. Series: Technical sciences*, (4), 118–126. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2023.4.15> [in Ukrainian].

3. Simakova, O. O., Nykyforov, R. P. (2018). Rozrobka novitnikh tekhnolohii vyrobiv z boroshna s zadanyimi vlastyvostiamy [Development of the latest technologies of flour products with specified properties]: monohrafiia. *Kryvyi Rih: DonNUET*, 146 c. [in Ukrainian].

4. Dewettinck, K., Van Bockstaele, F., Kühne, B., Van de Walle, D., Courtens, T. M., & Gellynck, X. (2008). Nutritional value of bread: Influence of processing, food interaction and consumer perception. *Journal of Cereal Science*, 48 (2), 243–257. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2008.01.003>.

5. Naumenko, O., Hetman I., Chyzh, V., Gunko, S., Bal-Prylypko, L., Bilko, M., Tsentylo, L., Lialyk, A., Ivanytska, A., Liashenko, S. (2023). Improving the quality of wheat bread by enriching teff flour. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/11 (123), 33–41. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2023.279286>.

6. Shydakova-Kameniuka, E., Novik, A., Zhukov, Y., Matsuk, Y., Zaparenko, A., Babich, P., Oliinyk, S. (2019). Evaluation of technological properties of waste waters and their effects on the quality of emulsion for a sufficient feed with liquid plastered oils. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2/19 (88), 29–34. <https://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.159983>

7. Tsisaryk, O., Musii, L., Slyvka, I., Lutsyk, I. (2024). Development technology of functional dairy product with phytocomponents. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*, 26 (101), 156–163. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f10123>.

8. Kravchenko, M. M., Romanenko, R. P., Romanovska O. L. (2015). Strukturno-mekhanichni vlastyvosti vypechenykh biskvitnykh napivfabrykativ z dodavanniam boroshna «zdorovia» ta poroshku kerobu. [Structural and mechanical properties of baked biscuit semi-finished products with the addition of "health" flour and carob powder]. *Kharchova nauka ta tekhnolohiia*, 9 (4), 37–43. <https://doi.org/10.15673/2073-8684.4/2015.55869> [in Ukrainian].

9. Bashta, A. O., Bazhai-Zhezherun, S. A. (2024). Vykorystannia proroshchenoho zerna sochevytsi ta hrechky u tekhnolohii keksiv. [Use of sprouted lentil and buckwheat grains in cupcake technology]. *Scientific strategies in the context of global challenges: proceedings of the I International Scientific-Practical Conference*, April, 16, 2024, Warsawa (Poland), 141–143. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/42965> [in Ukrainian].

10. Shydakova-Kameniuka, O. H., Novik, H. V., Rohova, A. L., Savenko, A. D. (2018). Otsiniuvannia vplyvu horikhovykh shrotiv na yakist zdobnoho pechyva pid chas zberihannia. [Evaluation of the effect of nut meal on the quality of butter cookies during storage]. *Prohresyvnii tekhnika ta tekhnolohiia kharchovykh vyrobnytstv, restorannoho hospodarstva ta torhivli: zb. nauk. prats. KhDUKhT*. Kharkiv, 1 (27), 268–280. <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/578> [in Ukrainian].

11. Bachynska. Ya. O., Nepochatykh, T. A., Borodai, D. V. (2013). Shliakhy pidvyshchennia biolohichnoi tsinnosti kondyterskykh vyrobiv ta vdoskonalennia tekhnolohii vyrobnytstva pechyva z vykorystanniam shrotiv. [Ways of increasing the biological value of confectionery products and improving the technology of biscuit production using meal]. *Zernovi produkty i kombikormy*. [Cereal products and compound feed]. 2013. № 3. P. 27–30.

12. Kasabova, K. R., Hrevtseva. N. V., Shydakova-Kameniuka, O. H., Omelchenko, O. V. (2017). Vykorystannia vtorynnykh produktiv vynorobnoho ta pyvovarnoho vyrobnytstv u tekhnolohii zdobnoho pechyva. [The use of secondary products of winemaking and brewing industries in the technology of

butter cookies]. *Obkladnannia ta tekhnolohii kharchovykh vyrobnytstv.* [Equipment and technologies of food production.]. № 35. P. 5–11. <http://elibrary.donnue.edu.ua/id/eprint/1449.578>. [in Ukrainian].

13. Malouf, T., Tarek, M. (2012). *The Hummingbird Bakery Cupcakes & Muffins*. London: Ryland Peters & Small, 64 p.

14. Delia, B. (2015.) *Food Carotenoids: Chemistry, Biology and Technology*. Wiley-Blackwell. 328 p.

15. Chandan, R. Kilara, A. (2011). *Dairy Ingredients for Food Processing*. Wiley-Blackwell. 604 p.

16. Sudha, M. X., Vetrmani, R., Leelavathi, K. (2007). Influence of fibre from different cereals on the rheological characteristics of wheat flour dough and on biscuit quality. *Food Chem.* Vol. 100. 4. P. 1365–1370.

17. Matyiashchuk, O. V., Furmanova, Yu. P., Pianykh, S. K. (2017). *Vykorystannia amarantovoho boroshna v tekhnolohii vyrobnytstva biskvitnykh napivfabrykativ* [The use of amaranth flour in the production technology of biscuit semi-finished products]. *Naukovyi pohliad v maibutnie*, 6, 52–58. <https://doi.org/10.30888/2415-7538.2017-06-02-103> [in Ukrainian].

18. Kravchenko, M. F., Mykhailik, V. S. (2019). Research into the structuralmechanical properties of short bread dough with oil seed meals. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3/11 (89), 45–54. <https://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2019.170617>.

19. Kravchenko, M. F., Mykhailik, V. S., Marusiak, T. M. (2021). *Yakist piscochnoho pechyva z kompozytsiieiu shrotiv*. [The quality of shortbread with a composition of meal]. *Tovary i rynky*, 3, 141–150. [in Ukrainian]. [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2021\(39\)11](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2021(39)11).

20. Dorokhovych, V. V. (2020). *Boroshniani kondyterski vyroby dlia khvorykh na tsukrovyy diabet iz zastosuvanniam produktiv pererobky morkvy*. [Flour confectionery products for diabetics using carrot processing products]. *Naukovi pratsi NUKhT*. 26, 1, 238–244. 10.24263/2225-2924-2020-26-1-28 [in Ukrainian].

21. Dorokhovych, V. V., Abramova, A.H. (2013). *Vykorystannia tsukrozaminnykh novoho pokolinnia v tekhnolohii biskvitiv spetsialnogo pryznachennia*. [The use of new generation sugar substitutes in the technology of special purpose biscuits]. *Naukovi pratsi Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnolohii*, 44 (1), 153–157. [in Ukrainian].

22. Dorokhovych, V. V., Doliuk, M. Yu., Lukash, K. R. (2021). *Vyznachennia mozhlyvosti ta dotsilnosti zastosuvannia maltytolu i boroshna amarantu v tekhnolohii tsukrovoho pechyva*. [Determination of the possibility and expediency of using maltitol and amaranth flour in the technology of sugar cookies]. *Naukovi pratsi NUKhT*, 27, 2, 112–120. 10.24263/2225-2924-2021-27-2-13. [in Ukrainian].

23. Hattner, E. K., Bello, F. Dal, Arendt, E. K. (2010). Rheological properties and bread making performance of commercial wholegrain oat flour. *Journal of Cereal Science*, 52, 65–71. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jcs.2010.03.004>.

24. Hordiienko, L. V., Zhydetska, I. V. (2010). *Vplyv spivvidnoshennia retsepturnykh komponentiv na reolohichni vlastyvoli emulsii dlia piscochnoho tista*. [The influence of the ratio of recipe components on the rheological properties of an emulsion for shortcrust pastry.] *Naukovi pratsi Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnolohii*. [Scientific works of the Odessa National Academy of Food Technologies]. 1, 38. P. 214–217. 578 [in Ukrainian].

25. Pojić, M., Dapčević Hadnadev, T., Hadna-dev, M., Rakita, S., Brlek, T. (2015). Bread Supplementation with Hemp Seed Cake: A By-Product of Hemp Oil Processing. *J. Food Qual.* 38, 431–440. <https://doi.org/10.1111/jfq.12159>.

26. Kornpointner, C., Martinez, A., Marinovic, S., Haselmair-Gosch, C., Jamnik, P., Schröder K., Löffke, C., Halbwirth, H. (2021). Chemical composition and antioxidant potential of *Cannabis sativa* L. roots. *Ind Crop Prod*, 165:113422. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113422>.

27. Bolkhovitina, O. I., Kamenyuka, L. A. (2021). *Vplyv boroshna z nasinnya konopel na pokaznyky yakosti pshenychnoho khliba*. [The influence of hemp seed flour on the quality indicators of wheat bread]. *XDUXT*, 2. 45–46. [in Ukrainian].

28. Liliana, B. C., Livia, A., Laura, M. (2018). Effects of hemp flour, seeds and oil additions on bread quality. *J. Eng. Res. Appl*, 8, 73–78. <https://doi.org/10.9790/9622-0805037378>.

29. Rakhmetov D., Obolkina V., Nosenko T., Dzyhar O. (2018). Chemical composition of fenugreek hay leaves. *Ukrainian Food Journal*, 7 (3), 397–408. 10.24263/2304- 974X-2018-7-3-5.

30. Obolkina V. I., Nosenko T.T., Dzyhar O. O., Rakhmetov D. B. (2017). *Vyvchennia vmistu biolohichno aktyvnykh spoluk u lysti monardy dviichastoi z metoiu vykorystannia priano-aromatychnoi*

fitosyrovyny pry stvorenni kreker z podovzhenym terminom prydatnosti.[Study of the content of biologically active compounds in the leaves of monarda bichachyta for the purpose of using spicy-aromatic phytoraw material in the creation of a cracker with an extended shelf life]. Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii, 23 (6), 127–137. [in Ukrainian].

31. Samokhvalova, O. V., Hrevtseva, N. V., Brykova, T. M., Hryhorenko, A. M. (2016). Vplyv poroshku z vynohradnykh kistochok na yakist zdobnoho pechyva. [Influence of grape seed powder on the quality of butter cookies]. Skhidnoievropeyskyi zhurnalпередовykh tekhnolohii. Technology and equipment of food production, 3/11, 61-66. <https://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2016.69838>. [in Ukrainian].

32. Kasabova, K. R., Samokhvalova, O. V., Oliinyk, S. H. (2013). Kharakterystyka novykh dzherel kharchovykh volokon dlia zbahachennia boroshnianykh kondyterskykh vyrobiv [Characterization of new sources of dietary fibers for enrichment of flour confectionery products.]. Skhidnoievropeyskyi zhurnal передовykh tekhnolohii. Technology and equipment of food production, 6 (11), 8–13. <https://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2013.18861> [in Ukrainian].

33. Cheliabiieva, V.N., Turinova, I.V. (2019). Vykorystannia boroshna sochevytsi u retsepturi pechyva. [Use of lentil flour in the cookie recipe]. Vcheni zapysky TNU imeni V.I. Vernadskoho. Seriya: tekhnichni nauky, 30 (69), 2, 1, 91–94. [in Ukrainian].

34. Yudina, T. I., Bezruchenko, O. M., Pavliuchenko, V. O. (2019). Obgruntuvannia skladu boroshnianoï syrovyny u tekhnolohii bezgliutenovykh keksiv. [Justification of the composition of flour raw materials in the technology of gluten-free cupcakes]. Pr. Tav. derzh. ahrotekhnol. un-tu. Melitopol: TDATU, 19, 1, 179–186. <https://doi.org/10.31388/10.31388/2078-0877> [in Ukrainian].

35. Wang, Y. Y., Norajit, K., & Ryu, G. H. (2011). Influence of extruded hemp-rice flour addition on the physical properties of wheat bread. Preventive Nutrition and Food Science, 16 (1), 62–66. <https://doi.org/10.3746/jfn.2011.16.1.062>.

36. Gujral Hardeep Singh, Mehta Sundeep, Samra Imaan Singh, Goyal Pankaj. (2003). Effect of wheat bran, coarse wheat flour, and rice flour on the instrumental texture of cookies. Int. J. Food Prop. Vol. 6. № 2. P. 329–340.

37. Nikolaieva, D. S. Rohova, A. L. (2020). Dotsilnist vykorystannia kerobu v tekhnolohii boroshnianykh kondyterskykh vyrobiv. [The expediency of using cherub in the technology of flour confectionery products]. «Aktualni pytannia rozvytku ekonomiky, kharchovykh tekhnolohii ta tovaroznavstva»: mater. mizhnarod. nauk. studentskoi konferentsii za pidsumkamy naukovykh doslidnykh robit studentiv za 2019 r., 7–8.04.2020 r. Poltava: PUET, 278–279. [in Ukrainian].

38. Korenets, Yu., Goriainova, Iu., Nykyforov, R. (2017). Substantiation of feasibility of using black chokeberry in the technology of products from shortcake dough. Eastern European Journal of Enterprise technologies. Technology and equipment of food production, 2, 10 (86), 25–31. <https://dx.doi.org/10.15587/1729-4061.2017.98409>.

39. Horodetska, I. M., Kambulova, Yu. V., Kokhan, O. O., Oleksiienko, N. V. (2020). Yakist zdobnoho pechyva iz zastosuvanniam boroshna zelenoi hrechky, tsykoriuu, kerobu. [The quality of butter cookies with the use of green buckwheat, chicory, carob flour]. Kharchova promyslovist, 28, 54–61. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/41317>. [in Ukrainian].

40. Shin-ho, L., Byeong-guk, K., Na-young, P. Method for producing muffin using hot water extract of coffee residue with improved antioxidant activity and taste. Suncheon National University Industry-Academic Cooperation Group Pat. No.: KR101799817B1. K.R.: Stated: 12.10.2015. Published: 20.12.2017.

41. Davidov-Pardo G., Moreno M., Arozarena I., Marin-Arroyo M. R., Bleibaum R. N., Bruhn C. M. (2012). Sensory and Consumer Perception of the Addition of Grape Seed Extracts in Cookies. Journal of Food Science. Vol. 77, Issue 12. P. 430–438. <https://dx.doi.org/10.1111/j.1750-3841.2012.02991>.

УДК 532.528+582.751.42

ДОСЛІДЖЕННЯ КАВІТАЦІЙНОГО ВПЛИВУ НА ПРОЦЕСИ ОБРОБКИ
СУМІШЕЙ НАСІННЯ ОЛІЙНИХ І ЗЕРНОБОБОВИХ КУЛЬТУР*Гоженко Л. П.*¹, к.т.н., с.н.с.
<https://orcid.org/0000-0002-8999-1917>*Іваницький Г. К.*^{1,2}, д.т.н., пр.н.с.
<https://orcid.org/0000-0002-0486-2359>*Целень Б. Я.*¹, к.т.н., пр.н.с.
<https://orcid.org/0000-0001-5213-0219>*Радченко Н. Л.*¹, к.т.н., с.н.с.
<https://orcid.org/0000-0002-5315-1609>*Недбайло А. Є.*¹, к.т.н., с.н.с.
<https://orcid.org/0000-0002-8590-5823>*Щепкін В. І.*¹, гол. технолог*Шуляк В. В.*¹, гол. механік¹Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, Україна²Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського», Київ, Україна<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-05>

Предмет. Представлено вирішення питання інтенсифікації процесу екстракції біологічно-активних речовин (БАР) з сумішей цілісної та розмеленої насінневої сировини на прикладі насіння льону та екструдату бобів сої. Зроблено аналіз сучасних перспективних методів екстракції БАР з рослинної сировини, переваг і недоліків апаратів реалізації способів впливу на сировину. Запропоновано для оптимізації процесу екстракції експериментальні дослідження провести в пульсаційних диспергаторах ударного та кавітаційного типу, розроблених в ІТТФ НАН України, в яких реалізується метод дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ). **Мета.** Вивчення закономірностей впливу механізмів ДІВЕ на фізико-хімічні та структурно-механічні властивості насіння олійних і зернобобових культур при обробці в пульсаційних апаратах. **Методи.** В ході проведення експериментальних досліджень в одержаних екстрактах визначено фізико-хімічні властивості: вміст сухих речовин, кількість білка. Реологічні властивості отриманих сумішей експериментально досліджено на ротаційному віскозиметрі. Мікроструктуру зразків до обробки в апаратах і зразків, отриманих протягом обробки з періодичним відбором проб, досліджено на світловому мікроскопі. **Результати.** В результаті експериментальних досліджень встановлено, що кавітаційний механізм є найенергоєфективнішим і раціональнішим способом впливу на обробку насіння олійних і зернобобових культур. Для цілого та розмеленого насіння льону, екструдату бобів сої показники кількості виходу сухих речовин після екстракції в диспергаторі кавітаційного типу вищі, ніж у диспергаторі ударного типу на 2%; 7,5%; 5,8%. відповідно. Вихід білка з цілого та розмеленого насіння льону після обробки у кавітаційному диспергаторі також вищий приблизно на 2% і залежить від тривалості обробки, що максимально становить 10 хв. Встановлено, що для отриманих рідинних сумішей цілого і розмеленого насіння льону характерні властивості псевдопластичної рідини. У всіх сумішах проявляється неньютонівський характер в'язкості більш чітко зі збільшенням тривалості обробки. **Сфера застосування результатів.** Результати можуть використовуватись у технологіях переробки насіння олійних і зернобобових культур з максимальним збереженням термолабільних біоактивних компонентів.

Ключові слова: метод дискретно-імпульсного введення енергії, кавітація, пульсаційний апарат, диспергатор, насіння льону, екструдат бобів сої

RESEARCH OF CAVITATION INFLUENCE ON THE PROCESSING
OF MIXTURES OF OILY AND CEREAL LEGUME SEEDS*Liubov Hozhenko*¹ PhD, Senior Researcher
<https://orcid.org/0000-0002-8999-1917>*Georgiy Ivanitsky*^{1,2} D.Sc., Leading Researcher
<https://orcid.org/0000-0002-0486-2359>*Bogdan Tselen*¹ PhD, Leading Researcher
<https://orcid.org/0000-0001-5213-0219>

Nataliya Radchenko¹ PhD, Senior Researcher

<https://orcid.org/0000-0002-5315-1609>

Anna Nedbailo¹ PhD, Senior Researcher

<https://orcid.org/0000-0002-8590-5823>

Volodymyr Shchepkin¹, Chief Technologist

Volodymyr Shuliak¹, Chief Mechanic

¹Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

²National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine

Subject. A solution to the issue of intensification of the process of extraction of biologically active substances (BAR) from mixtures of whole and ground seed raw materials is presented using the example of flax seeds and extrudate from soybeans. The analysis of modern promising methods of BAR extraction from plant raw materials, advantages and disadvantages of apparatus for the implementation of methods of influence on raw materials was performed. In order to optimize the extraction process, it is proposed to carry out experimental studies in pulsating dispersers of the impact and cavitation type, developed at the ITTF of the National Academy of Sciences of Ukraine, in which the method of discrete-pulse energy input (DPEI) is implemented. **Purpose.** Study the regularities of the influence of DPEI mechanisms on the physicochemical, structural and mechanical properties of the seeds of oil and leguminous crops during processing in pulsation apparatus. **Methods.** In the course of experimental research, the physicochemical properties of the obtained extracts from grain crops were determined: the content of dry substances, and the amount of protein. The rheological properties of the obtained mixtures were experimentally investigated on a rotary viscometer. The microstructure of the samples to be processed in the apparatus and the samples obtained during the processing with periodic sampling was studied under a light microscope. **Results.** As a result of experimental studies, it was established that the cavitation mechanism is the most energy-efficient and rational way of influencing the processing of oil and leguminous seeds. For whole and ground flax seeds, soybean extrudate, the indicators of the amount of dry substances released after extraction in a cavitation-type disperser are higher than in an impact-type disperser by 2%; 7,5%; 5,8%. in accordance. The yield of protein from whole and ground flaxseed after treatment in a cavitation disperser is also higher by about 2% and depends on the duration of treatment, which is a maximum of 10 min. It was established that the obtained liquid mixtures of whole and ground flax seeds have characteristic properties of a pseudoplastic liquid. For all the mixtures investigated in the work, the non-Newtonian character of the viscosity is more clearly manifested with an increase in the duration of processing. **Scope of results.** The results can be used in the technology of processing the seeds of legumes and oil crops with maximum preservation of thermolabile bioactive components is required.

Key words: method of discrete-pulse energy input, cavitation, pulsation apparatus, disperser, flax seeds, soybean extrudate

Постановка проблеми. Головна особливість процесів обробки харчової рослинної сировини полягає в тому, що значно змінюються її фізико-хімічні та структурно-механічні властивості в процесі екстрагування [1, 2] і це суттєво впливає на всі стадії подальшого технологічного процесу [3]. Технологія переробки насіння олійних і зернобобових культур для продуктів функціонального призначення потребує максимального збереження біоактивних компонентів [4], що може забезпечити проведення екстрагування при невисоких температурах. Перед проведенням процесу екстракції БАР з насіння потрібне попереднє замочування, тривалість якого залежить від швидкості витіснення повітря з клітини. Застосовуючи ультразвукові апарати [5], що забезпечують звукокапілярний ефект, досягається не тільки прискорення витіснення бульбашок повітря, але і спричиняються умови для його розчинення у воді. Під дією ультразвукових коливань в оброблюваному середовищі відбувається активний вплив на клітинний і міжклітинний простір насінневої сировини, що забезпечує більш швидкий перехід біоактивних компонентів з клітини в екстрагент і приводить до інтенсифікації процесу екстрагування [1, 5]. В акустичному полі виникає процес диспергування. Оптимізація процесу диспергування насінневої сировини має вагоме значення для інтенсифікації процесу екстрагування [4]. Вирішальним фактором прискорення процесів масопереносу, що протікають під дією акустичного поля є кавітаційний механізм [6].

В останні роки методи інтенсифікації процесів екстрагування пов'язані із застосуванням ультразвукових, гідродинамічних та електророзрядних пристроїв, в яких реалізуються ефекти кавітації, що дозволяє впливати на швидкість внутрішнього масопереносу в клітинній структурі [7, 8] насіння олійних і зернобобових культур. Ультразвукові та електроімпульсні методи екстрагування практично не застосовуються в промислових виробництвах через відносно малу продуктивність та високі енерговитрати. При застосуванні в технологіях екстрагування таких гідродинамічних кавітаторів, як роторно-пульсаційні апарати, відцентрові насоси, трубки Вентурі та інші, слід брати до уваги структурно-механічні та абразивні властивості сировини [2, 3, 9]. До гідродинамічних пристроїв відносяться також пульсаційні апарати з активною діафрагмою [10], створені в ІТТФ НАНУ на основі принципу дискретно-імпульсного введення енергії (ДІВЕ), які застосовуються у виробництві в якості ефективних гомогенізаторів, диспергаторів, екстракторів. Ці апарати відрізняються високою зносостійкістю та відсутністю вузлів, які труться або обертаються, що дозволяє обробляти гетерогенні суміші з твердими частками, незалежно від їх форми, розміру та абразивних властивостей.

Формулювання мети та постановка завдання. Метою досліджень є вивчення закономірностей впливу сукупності механізмів ДІВЕ на фізико-хімічні та структурно-механічні властивості насіння олійних і зернобобових культур при обробці в пульсаційних апаратах. Об'єкти досліджень – водні екстракти з насіння льону цілого та розмеленого, водні екстракти та суміші на основі екструдованої сої з цілим насінням льону.

Для визначення енергоефективного способу процесу екстракції біологічно-активних речовин (БАР) з сумішей цілісної та розмеленої насінневої сировини на прикладі насіння льону та екструдату з бобів сої завданнями досліджень поставлено провести процес диспергування в пульсаційних апаратах ударного і кавітаційного типу, визначити показники фізико-хімічних та структурно-механічних властивостей отриманих екстрактів, визначити реологічні показники одержаних сумішей, дослідити мікроструктуру отриманих зразків методом оптичної мікроскопії.

Матеріали та методи. В результаті детального аналізу принципу дії апаратів, в яких реалізується метод ДІВЕ, було аналітично доведено і практично реалізовано можливість створення на базі пульсаційного апарата з активними діафрагмами [10], показаного на рис. 1 і застосованого у роботі як пульсаційного диспергатора ударного типу, вискоефективного пульсаційного диспергатора кавітаційного типу для застосування в технологічних процесах диспергування та екстракції при обробці рослинної сировини з широким спектром структурно-механічних та реологічних властивостей оброблюваних сумішей при порівняно невисоких енерговитратах.

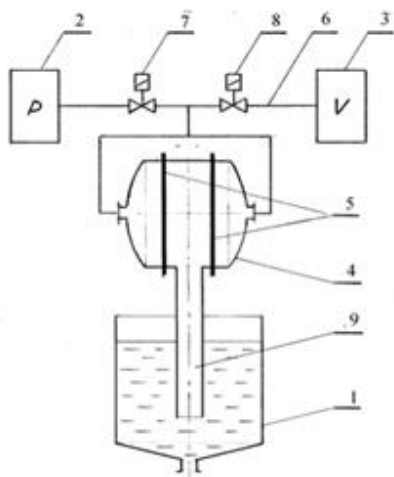


Рис. 1. Принципова схема пульсаційного апарата ударного типу

- 1 – ємність; 2 – джерело стисненого газу;
- 3 – джерело вакууму; 4 – пульсатор;
- 5 – гнучкі мембрани; 6 – трубопровід;
- 7, 8 – клапани; 9 – труба

Принципову схему пульсаційного диспергатора кавітаційного типу представлено на рис. 2.

Суміш екстрагента з подрібненою рослинною сировиною знаходиться у завантажувальному резервуарі під атмосферним тиском p_a при температурі T_1 . В процесі

роботи екстрактора рідинна суміш надходить в робочу камеру із резервуара або витікає з камери в резервуар через циліндричну трубу, яка герметично з'єднана з нижньою поверхнею камери. Верхня і нижня поверхні робочої камери мають форму кульового сегмента, між якими знаходиться еластична мембрана, що відокремлює рідинний та газовий тракти апарата. Через отвір на верхній поверхні робоча камера з'єднується із газовим трактом. Трьохходовий електромагнітний клапан періодично з заданими інтервалами часу підключає камеру до ресивера високого тиску (РВТ), з'єданого з компресором, або ж до ресивера низького тиску (РНТ), підключеного до вакуумного насоса. Величини тиску в РВТ можна задавати в інтервалі $p_{\text{comp}}=0,2\div0,5$ МПа, а в РНТ – в інтервалі $p_{\text{vac}}=0,001\div0,003$ МПа.

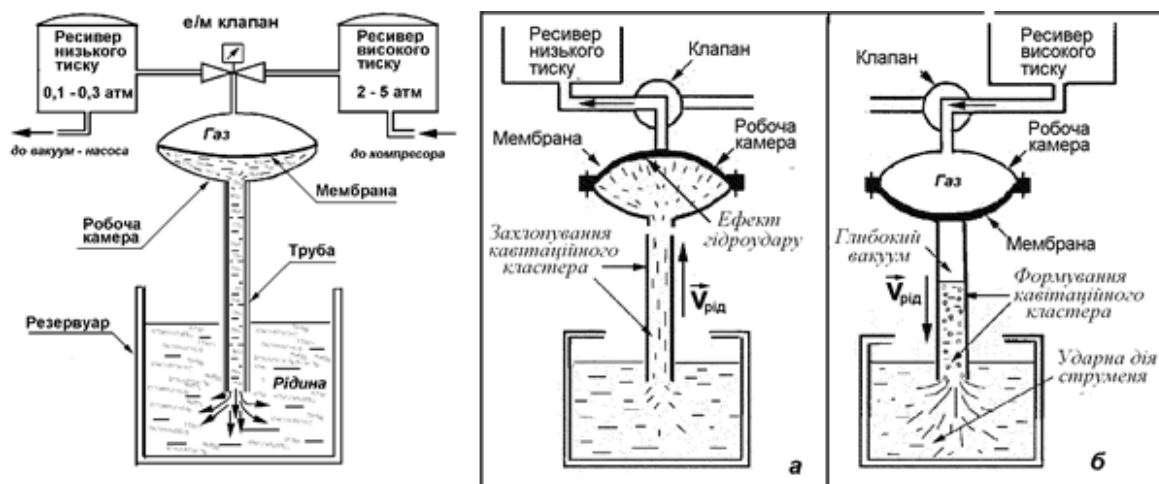


Рис. 2. Принципова схема пульсаційного диспергатора кавітаційного типу та основні динамічні ефекти методу ДІВЕ, що реалізуються:

а) стадія впуску рідини в робочу камеру; б) стадія виштовхування рідини з камери

На стадії підключення камери до РВТ мембрана під дією високого тиску інтенсивно виштовхує рідину з камери через трубу в резервуар. При перекритті мембраною отвору на нижній поверхні камери уся рідина виходить з камери. В цей момент швидкість течії в трубі набуває максимального значення (близько 10 м/с) і рідина продовжує рухатися вниз по трубі за інерцією (без контакту з мембраною). Після відриву рідинної суміші від мембрани у верхній частині труби утворюється порожнина під вакуумом з безперервно зростаючим об'ємом, що поступово заповнюється парою. Встановлено, що внаслідок швидкого руху стовпа рідини тиск пари в порожнині суттєво нижчий тиску насиченої пари $p_{\text{sat}}(T_1)$. Тиск в рідині на границі з порожниною миттєво знижується від величини $p_{\text{comp}}=0,3$ МПа до $p_1 < p_{\text{sat}}(T_1)=0,002$ МПа, що приводить до закипання рідинної суміші поблизу вільної поверхні.

Різниця тисків $p_a - p_{\text{sat}}(T_1)$ та дія сили тертя об стінку спричиняють різке гальмування рідинної суміші в трубі, яка потім змінюючи напрям, рухається зі зростаючою швидкістю до камери доки не дійде вхідного отвору в камеру. Якщо до цього моменту камера все ще підключена до РВТ, то вхід в камеру перекритий, і рідинна суміш, що рухається відразу зупиняється. Якщо ж камера вже з'єднана з РНТ, то рідинна суміш із труби швидко заповнює камеру і зупиняється на мембрані, що прилягає до верхньої поверхні камери. В обох випадках миттєва зупинка потоку ініціює явище гідрравлічного удару. При наступному підключенні камери до РВТ цикл повторюється. Частота повторень циклів в залежності від режиму, знаходиться в діапазоні $0,5 \div 1,5$ Гц.

На рис. 2 також показані основні динамічні ефекти методу ДІВЕ, що реалізуються в пульсаційному диспергаторі кавітаційного типу. До них відносяться: динамічний вплив струменя, що витікає з труби в резервуар і сприяє інтенсивному турбулентному перемішуванню суміші; вплив гідрравлічного удару, що виникає внаслідок гальмування

зворотнього потоку на поверхні мембрани, який супроводжується високочастотним змінням стиснення та розрідження в камері і трубі і, як наслідок, виникненням вторинних кавітаційних ефектів. Але найбільш потужні кавітаційні ефекти виникають після виходу рідини з камери в трубу.

Процес екстрагування проведено паралельно в пульсаційних диспергаторах ударного та кавітаційного типу. При проведенні експериментальних досліджень впливу кавітаційних ефектів на сировину в пульсаційних диспергаторах взято за об'єкти досліджень: насіння льону ціле та розмелене, екструдат бобів сої, окремо екструдат бобів сої з цілим насінням льону (для визначення впливу на структурно-механічні властивості після обробки). Методом попередніх лабораторних досліджень визначено гідромодуль 1:7 і також визначено температуру екстрагента рівною 30°C, яка підтримувалась протягом дослідження. В якості екстрагента використано воду. Після екстрагування в одержаних зразках експериментально визначено: вміст сухих речовин згідно ДСТУ 7804:2015, кількість білка за нефелометричним методом, реологічні показники екстракту за допомогою ротаційного віскозиметра «Реотест-2». Мікроструктуру зразків досліджено на світловому мікроскопі Axio Imager Z1m виробництва Carl Zeiss.

Результати та обговорення. В ході експериментальних досліджень процесу екстракції насіння льону цілого без попереднього замочування, а також розмеленого льону і екструдату бобів сої з цілим насінням льону в пульсаційному диспергаторі кавітаційного типу одержано мутні суспензії світло-сірого кольору. Результати дослідження мікроструктури отриманих зразків сумішей показали переважну наявність частинок розмірами меншими 5 мкм. Навколо цілого насіння льону у водній суспензії спостерігаються круглі об'єкти розміром 2 мкм. Цілісність насінини протягом обробки в пульсаційних диспергаторах не порушено, розламу структури не відбулося. Протягом доби відстоювання гелеподібної суміші з цілого насіння льону ущільнення шару не відбулося.

Результати кількості виходу сухих речовин в усіх об'єктах дослідження в залежності від тривалості обробки, представлено на рис. 3. Видно, що для кожного виду насіння процес екстрагування інтенсивніше проходить в диспергаторі кавітаційного типу, на відміну від ударного. Для екструдату сої та розмеленого льону різниця показників кількості виходу сухих речовин, порівнюючи після обробки в апаратах, складає близько 5,8% та 7,5% відповідно. Для цілого насіння льону різниця становить 2%. Безумовно вплив кавітаційних ефектів кращий на розмелену сировину. Проте, одержані показники для цілісної сировини мають велике практичне значення.

Наступним етапом з аналізу одержаних зразків було порівняння за виходом кількості білка (рис. 4).

Видно, що для кожного виду насіння вихід білка більший в диспергаторі кавітаційного типу на відміну від ударної дії. Різниця між виходом кількості білка розмеленого насіння льону та цілого в цих апаратах складає 1,8% і 2% відповідно. Вихід білка також залежить від тривалості обробки. Загалом в пульсаційних диспергаторах досить 10 хв обробки як для цілого, так і розмеленого насіння льону.

Сировина, напівфабрикати, готова продукція мають різноманітні структурно-механічні властивості, що залежать від багатьох факторів, а саме: температури, тиску, вологості, якості вихідної сировини, механічної взаємодії, транспортування, способів і терміну зберігання та інших умов. Експериментальні дослідження, пов'язані з вивченням фізико-хімічними, біологічними і механічними процесами дають можливість оптимізувати організацію об'єктивного контролю якості готової продукції. Харчова промисловість пов'язана з процесами переробки структурованих дисперсних систем, які характеризуються такими механічними та реологічними властивостями як в'язкість, пружність, повзучість, пластичність, міцність, релаксація та ін. На рис.5 зображено криві в'язкості одержаних зразків після обробки під впливом кавітаційного механізму.

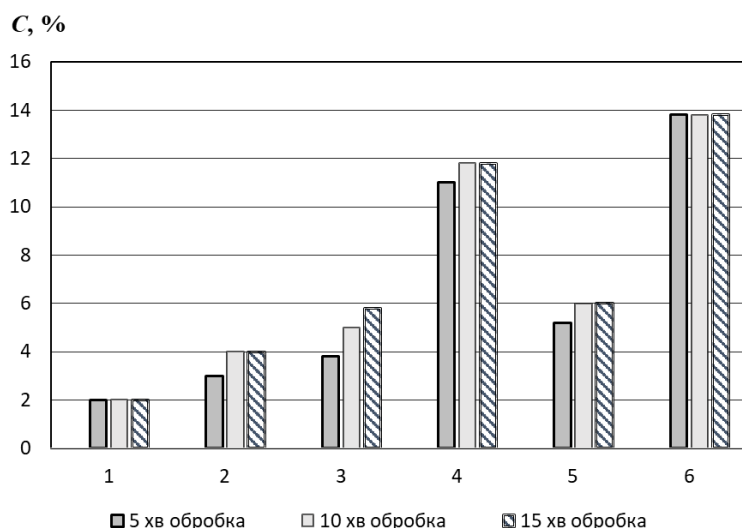


Рис. 3. Кількість виходу сухих речовин $C, \%$ у зразках 1–6, в залежності від тривалості обробки в пульсаційних апаратах: 1 – цілий льон, обробка в диспергаторі ударного типу; 2 – цілий льон, обробка в диспергаторі кавітаційного типу; 3 – льон розмелений, обробка в диспергаторі ударного типу; 4 – льон розмелений, обробка в диспергаторі кавітаційного типу; 5 – екструдат сої, обробка в диспергаторі ударного типу; 6 – екструдат сої, обробка в диспергаторі кавітаційного типу

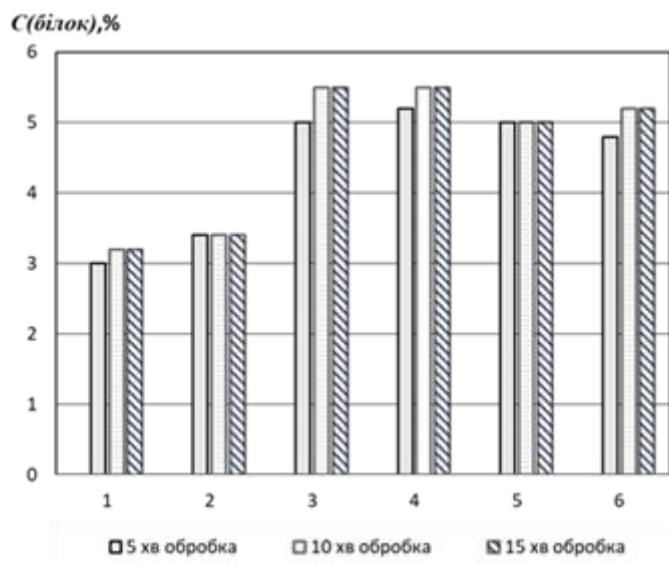


Рис. 4. Залежність виходу кількості білка C (білка), % у зразках 1–6 в залежності від тривалості обробки в пульсаційних апаратах: 1 – цілий льон, обробка в диспергаторі ударного типу; 2 – цілий льон, обробка в диспергаторі кавітаційного типу; 3 – льон розмелений, обробка в диспергаторі ударного типу; 4 – льон розмелений, обробка в диспергаторі кавітаційного типу; 5 – екструдат сої, обробка в диспергаторі ударного типу; 6 – екструдат сої, обробка в диспергаторі кавітаційного типу

На рис. 5а, б представлено, як приклад, експериментальні дані по залежності напруження зсуву P від швидкості зсуву $\varepsilon = \Delta v / \Delta r$, одержані на ротаційному віскозиметрі «Реотест-2» для двох зразків обробленої суміші. Проведені реологічні дослідження показали, що усі суміші після екстрагування мають властивості неньютонівської рідини. Екстракт цілого льону, як видно з рис. 5 а, має характерні властивості псевдо пластичної рідини – ефективна в'язкість $\eta = dP/d\varepsilon$ зменшуються із зростанням швидкості зсуву. Такий же реологічний характер спостерігається і в обробленій суміші розмеленого льону. Принципово інші реологічні властивості у суміші екструдату бобів сої з цілим насінням льону. Дані рис.5 б свідчать про те, що цей продукт має типовий характер бінгамовської в'язкопластичної рідини. ($P = P_k - \eta\varepsilon$ і $\eta = d(P - P_k)/d\varepsilon$). Значення кінцевого напруження P_k зростають з часом обробки: При тривалості обробки 5, 10 та 15 хвилин кінцеве напруження дорівнює відповідно 5, 11 і 28 Па. Для всіх досліджених в роботі сумішей неньютонівський характер в'язкості проявляється більш чітко при підвищенні часу обробки в пульсаційному диспергаторі кавітаційного типу.

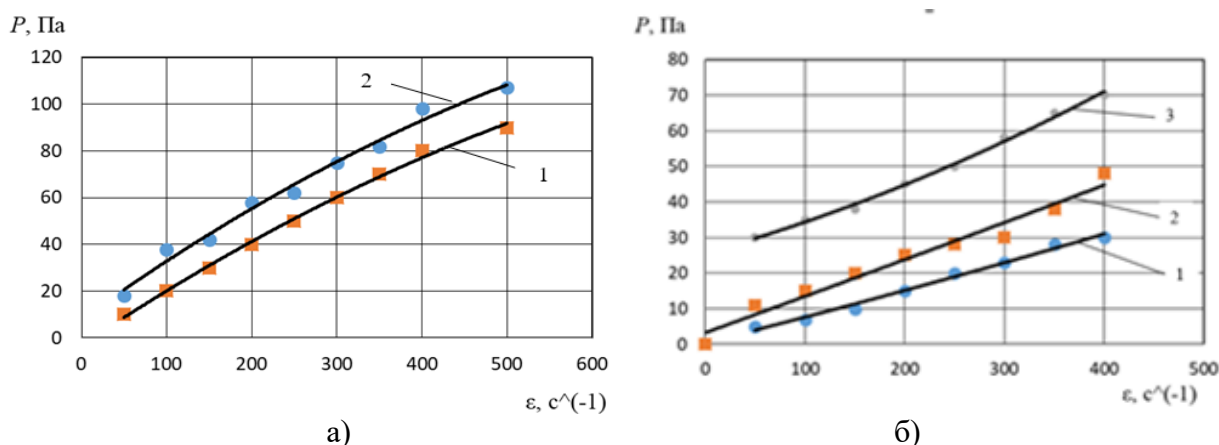


Рис. 5. Реологічні властивості одержаних сумішей після кавітаційної обробки

а – насіння льону ціле, б – екструдат бобів сої з цілим насінням льону.

Тривалість обробки, хв: 1–5; 2–10; 3–15

Висновки. Максимально можливий вихід біологічно активних компонентів з дослідної сировини одержано при впливі кавітаційних ефектів. Для цілого насіння льону вихід сухих речовин складає 4% при обробці у диспергаторі кавітаційного типу, що отримано протягом 10 хв. Із розмеленого насіння льону кавітаційною обробкою за 10 хв досягнуто на 6% (у 2 рази) більше виходу кількості сухих речовин порівняно з обробкою в диспергаторі ударного типу. Максимальне значення цього показника для суміші екструдату бобів сої з цілим насінням льону при кавітаційній обробці складає 14%, що у 2,3 рази перевищує значення при пульсаційному ударному впливі.

Вміст білка в одержаних суспензіях максимально вилучено протягом 5 хв обробки в пульсаційних диспергаторах. Залежно від подальшого застосування у технологічному процесі треба брати до уваги реологічні залежності від тривалості обробки.

Експериментальні дослідження порівняльного впливу сукупності механізмів ДІВЕ на сировину із сумішей на основі насіння олійних і зернобобових культур показують ефективність застосування кавітаційного впливу при обробці в пульсаційному диспергаторі без пошкодження структури волокон.

Для отримання рідких суспензій з масимальним виходом білка достатньо 10 хв обробки при застосуванні методу ДІВЕ в пульсаційних апаратах. Дослідження процесу екстракції проведено при температурі 30°C, що задовільняє особливості виходу термолабільних БАР з сировини.

Одержані показники фізико-хімічних та структурно-механічних властивостей екстрактів та сумішей насіння олійних і зернобобових культур, на прикладі насіння льону цілого та розмеленого, суміші екструдату бобів сої з цілим насінням льону, при обробці в пульсаційних диспергаторах ударного та кавітаційного типу мають вагоме практичне значення.

Бібліографія

1. Emadzadeh M K, Aarabi A, Aarabi Najvani F, Chiani M, Mehrabi M R. The Effect of Extraction Method on Physicochemical Properties of Mucilage Extracted from Yellow and Brown Flaxseeds. *Jundishapur J Nat Pharm Prod*. 2022;17(4):e123952. <https://doi.org/10.5812/jjnpp-123952>.
2. Srb, P., Syrovátková, M., Kulhavý, P., & Tomková, B. (2018). Study of Mechanical Properties and Modeling of Flax Reinforced Composites. In *Materials Science Forum* (Vol. 919, pp. 152–159). Trans Tech Publications, Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.919.152>.
3. Thierry Hellebois, Jennyfer Fortuin, Xuan Xu, Alexander S. Shaplov, Claire Gaiani, Christos Soukoulis. Structure conformation, physicochemical and rheological properties of flaxseed gums extracted under alkaline and acidic conditions, *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 192, 2021, Pages 1217–1230, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.10.087>.

4. Янюк Т. І., Шаповаленко О. І., Тракало Т. О., Малюта К. С. Технологія отримання суспензії з насіння льону. *Хранение и переработка зерна*. 2016. № 9. 55–58. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/32902> (дата звернення 15.04.2024).

5. Ren X, Meng X, Zhang Z, Du H, Li T, Wang N. Effects of Ultrasound-Assisted Extraction on Structure and Rheological Properties of Flaxseed Gum. *Gels*. 2023; 9(4):318. <https://doi.org/10.3390/gels9040318>.

6. Вітенько Т. М. Гідродинамічна кавітація у масообмінних, хімічних і біологічних процесах. Тернопіль: Видавн. Терноп. держ. техн. ун-ту ім. І. Пулюя, 2009. 220 с.

7. Дячок В. В., Запорожець Ю. В. Про механізм масообміну з тілами клітинної будови. *Харчова промисловість*. 2017. № 22. 85–92.

8. Іваницький Г. К., Чайка О. І., Гоженко Л. П. Застосування кавітаційного реактора пульсаційного типу для екстрагування з рослинної сировини. *Наукові праці ОНАХТ*. 2015. № 47 (2). 138–142. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v1i47.419>.

9. Чайка О. І., Гоженко Л. П., Іваницький Г. К., Корінчук Д. М. Інтенсифікація диспергування низинного торфу із застосуванням пульсаційного диспергатора. *Пром. Теплотехніка*. 2013. № 35 (5). 20–26.

10. Чайка О. І., Малецька К. Д., Матюшкін М. В., Гоженко Л. П. Експериментальні дослідження екстрагування з рослинної сировини методом дискретно-імпульсного введення енергії. *Наукові праці*. 2012. № 41 (1). 48–51.

References

1. Emadzadeh M K, Aarabi A, Aarabi Najvani F, Chiani M, Mehrabi M R. The Effect of Extraction Method on Physicochemical Properties of Mucilage Extracted from Yellow and Brown Flaxseeds. *Jundishapur J Nat Pharm Prod*. 2022;17(4):e123952. <https://doi.org/10.5812/jjnpp-123952>.

2. Srb, P., Syrovátková, M., Kulhavý, P., & Tomková, B. (2018). Study of Mechanical Properties and Modeling of Flax Reinforced Composites. In *Materials Science Forum* (Vol. 919, pp. 152–159). Trans Tech Publications, Ltd. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/msf.919.152>.

3. Thierry Hellebois, Jennyfer Fortuin, Xuan Xu, Alexander S. Shaplov, Claire Gaiani, Christos Soukoulis, Structure conformation, physicochemical and rheological properties of flaxseed gums extracted under alkaline and acidic conditions, *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 192, 2021, Pages 1217-1230, ISSN 0141-8130, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.10.087>.

4. Yaniuk T. I., Shapovalenko O. I., Trakalo T. O., Maliuta K. S. (2016). *Technologia otrymannia suspenzii z nasinnia lionu*. [The technology of obtaining a suspension from seeds]. *Khranenia i pererabotka zerna* [Grain storage and processing]. 9. 55–58. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/32902> [in Ukrainian].

5. Ren X, Meng X, Zhang Z, Du H, Li T, Wang N. Effects of Ultrasound-Assisted Extraction on Structure and Rheological Properties of Flaxseed Gum. *Gels*. 2023; 9(4):318. <https://doi.org/10.3390/gels9040318>.

6. Vitenko, T. (2009). *Hidrodynamichna kavitatsia u masoobminnykh, chimichnykh i biolohichnykh protsessakh: Monografiia*. [The hydrodynamic cavitation in mass transfer, chemical and biological processes: Monograph]. Ternopil. Ternopil Ivan Puluiy National Technical University. 220 p.

7. Diachok, V. V., Zaporozhets, Yu. V. (2017). *Pro mechanism masoobminu z tilamy klityynnoi budovy* [On the mechanism of mass exchange with the bodies of the cellular structure]. *Charchova promyslovist* [Food Industry]. № 22. 85–92. [in Ukrainian].

8. Ivanitskyi, G. K., Chayka, O. I., Gozhenko, L. P. (2015). *Zastosuvannia kavitatsiynoho reaktora pulsatsionnoho typu dlia ekstrahuvannia z roslynnoi syrovyny* [The use of pulsating cavitation reactor type for extraction of plant raw material]. *Naukovi pratsi ONAKHT* [Scientific Works]. 2 (47). 138–142. <https://doi.org/10.15673/swonaft.v1i47.419> [in Ukrainian].

9. Chaika, O. I., Gozhenko, L. P., Ivanitskyi, G. K., Korinchuk, D. M. (2013). *Intensyfikatsia dysperhuvannia nyzynnoho torfu iz zastosuvanniam pulsatsiynoho dysperhatora* [Intensification of lowland peat dispersion using a pulsating disperser]. *Prom. Teplotekhnika* [Industrial heat engineering]. 5 (35). 20–26. [in Ukrainian].

10. Chaika, O. I., Maletska, K. D., Matiushkin, M. V., Gozhenko, L. P. (2012) *Eksperymentalni doslidzhennia ekstrahuvannia z roslynnoi syrovyny metodom dyskretno-impulsnoho vvedennia enerhii* [Research of extraction from plant raw materials by the method of discrete-pulse energy input] *Naukovi pratsi ONAKHT* [Scientific Works]. № 41 (1). 48–51. [in Ukrainian].

УДК 663.52

ДЕЯКІ АСПЕКТИ ЕКОЛОГІЗАЦІЇ СПИРТОВИХ ВИРОБНИЦТВ В СУЧАСНИХ УМОВАХ ТА РОЗШИРЕННЯ СИРОВИННОЇ БАЗИ

Грушецький Р. І., д.т.н., с.н.с., гол. наук. співробітник
 відділу технології продуктів бродіння
<https://orcid.org/0000-0002-1513-4015>

Данілова К. О., к.т.н., с.н.с., вчена секретарка
<https://orcid.org/0000-0001-6204-9975>

Гріненко І. Г., д.т.н., с.н.с., заст. зав.
 відділу технології цукру, цукровмісних продуктів і інгредієнтів
<https://orcid.org/0000-0002-7832-7578>

Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-06>

Предмет. Різноманітна сировина для одержання спирту, відходи спиртового виробництва – післяспиртова барда і стічні води. **Мета.** Аналітичне дослідження проблем і визначення можливостей покращення екологізації спиртового виробництва за рахунок розширення сировинної бази з урахуванням зміни кліматичних умов. **Методи.** Інформаційна база дослідження – наукові статті у вітчизняних та закордонних виданнях, інформаційні електронні ресурси. **Результати.** Аналізуючи ситуацію, що склалася в спиртовій галузі, а саме: високі коефіцієнти використання енергії і води, велика кількість відходів, зокрема, післяспиртової барди, що без ретельної очистки спричиняє забрудненість стічних вод, стає очевидним, що екологізація спиртових підприємств є важливою і актуальною. Причому, при вирішенні цієї задачі важливу роль відіграє сировина. У зв'язку із глобальним потеплінням клімату варто більше уваги привернути до посухостійких культур, які призначені до вирощування в зоні підвищених температур. До таких культур відноситься цукрове сорго, батат, топінамбур тощо. При проектуванні спиртових заводів варто приймати до уваги відстань до сировинної бази для зниження логістичного навантаження. При виборі технологічної схеми переробки необхідно використовувати ефективні способи очистки стоків і застосовувати ті, що дають можливість користуватися альтернативною енергією (біогаз), а також очищати, охолоджувати і повторно використовувати воду в межах виробництва. Очищення стічних вод варто проводити максимально екологічними методами, до яких відносять біологічні методи і фіторе mediaцію, для реалізації якої використовують біологічні водоймища. **Сфера застосування результатів.** Одержані результати можуть слугувати підґрунтям при розробленні методів екологізації спиртової промисловості.

Ключові слова: спиртове виробництво, екологізація, післяспиртова барда, фіторе mediaція, очистка стічних вод

SOME ASPECTS OF THE ECOLOGIZATION OF ALCOHOL INDUSTRIES IN MODERN CONDITIONS AND EXPANSION OF THE RAW MATERIAL BASE

Roman Grushetskiy, D-r of sc., Senior Researcher,
 Chief Researcher of Department of fermentation product technology
<https://orcid.org/0000-0002-1513-4015>

Kateryna Danilova, PhD, Technics, Senior Researcher, scientific secretary
<https://orcid.org/0000-0001-6204-9975>

Irina Grinenko, D-r of sc., Senior Researcher,
 Deputy Head of Department of Sugar Technology, Sugar Products and Ingredients
<https://orcid.org/0000-0002-7832-7578>

Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

Subject. Various raw materials and waste of alcohol production – distillery stillage and wastewater. **Purpose** An analytical study of problems and identification of opportunities for improving the ecologization of alcohol production, taking into account changing climatic conditions. **Methods.** The information base of the study is scientific articles in domestic and foreign publications, information electronic resources. **Results.** Analyzing the situation in the alcohol industry, namely: high energy and water consumption rates, a large amount of waste, in particular, distillery stillage, which without

thorough treatment causes wastewater pollution, it becomes obvious that the ecologization of alcohol enterprises is important and relevant. Moreover, raw materials play an important role in solving this problem. Due to global warming, it is worth paying more attention to drought-resistant crops that are accustomed to growing in a zone of elevated temperatures. Such crops include sugar sorghum, sweet potatoes, Jerusalem artichoke, etc. When designing alcohol plants, it is worth taking into account the distance to the raw material base to reduce the logistical load. When choosing a technological scheme for processing, it is necessary to use effective methods of wastewater treatment and apply those that make it possible to use alternative energy (biogas), as well as purify, cool and reuse water within the production. Wastewater treatment should be carried out using the most environmentally friendly methods, which include biological methods and phytoremediation, for the implementation of which biological reservoirs are used. **Scope of results.** The results obtained can serve as a basis for developing methods for greening the alcohol industry.

Key words: alcohol production, ecologization, distillery stillage, phytoremediation, wastewater treatment.

Постановка проблеми. Очікується, що ринок етанолу суттєво розшириться в найближчі роки. Зокрема, обсяг світового ринку етанолу в минулому році становив 103,62 мільярда доларів США, по розрахункам в 2024 році буде становити 109,11 мільярда доларів США, і очікується, що він досягне приблизно 182,88 мільярда доларів США до 2034 року, збільшуючись із середньорічним темпом зростання на 5,3% з 2024 по 2034 рік [1].

У найбільш вигідній позиції будуть компанії з інтегрованими виробничими установками, які пропонують різноманітні сорти спирту, а також ті, які суттєву увагу приділяють питанням захисту довкілля. Зокрема, які мають замкнутий цикл виробництва та застосовують альтернативні джерела енергії, утилізацію CO₂, виробництво органічних добрив з відходів. Цей комплексний підхід не тільки максимізує прибутковість, але й прокладає шлях до більш стійкої та енергоефективної промисловості етанолу.

Варто зазначити, що виробництво етанолу, як і інших міцних алкогольних напоїв, є самими енерго- і водозатратними в індустрії бродильних виробництв [2] (рис. 1 і 2).

Як видно із наведених діаграм, якщо тенденція використання води є більш менш стабільною, то використання енергії суттєво варіюється по роках. Коефіцієнт використання води останнім часом знижується.

Енергозбереження є однією з головних проблемою в спиртовій промисловості. Багато компаній почали впроваджувати енергозберігаючі заходи, такі як встановлення енергозберігаючих систем освітлення та опалення та використання відновлюваних джерел енергії. Деякі пивоварні та лікєро-горілчані заводи навіть перейшли на біопаливо для своїх котлів і парогенераторів. Це не тільки допомагає знизити викиди діоксиду вуглецю, але й зменшити залежність від викопного палива [3].

Але найбільшу увагу останнім часом надають проблемам збереження води. Основним процесом, що потребує використання великої кількості води при виробництві етилового спирту є дистиляція. Саме охолодження та очищення є двома найбільшими факторами споживання води під час цього процесу. Щоб отримати один літр вина потрібно 870 літрів води. На виробництво одного літра пива витрачається 298 літрів, одного літра спирту – 170 л води. У світовій практиці використовують різноманітні методи для зменшення витрат води. Суттєвим кроком для зменшення використання води може бути встановлення на місці очищення стічних вод замкнутих систем охолодження з виявленням витоків, а також методи хімічного впливу, такі як сухий лід або озон [4].

Але питання збереження води стосується не лише самого виробництва, але й вирощування сільськогосподарської сировини. Крім того, зміна клімату загрожує зривом поставок сільськогосподарської продукції [5].

Тому актуальним є питання пошуків перспективних видів сировини, яка забезпечує максимальну урожайність в сучасних кліматичних умовах.

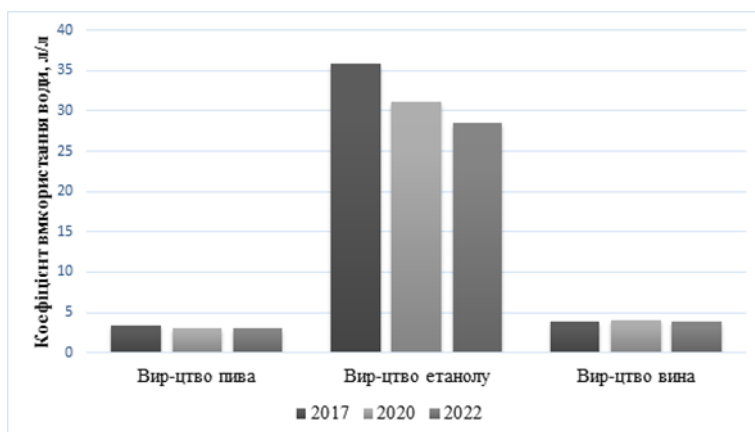


Рис. 1. Коефіцієнт використання води

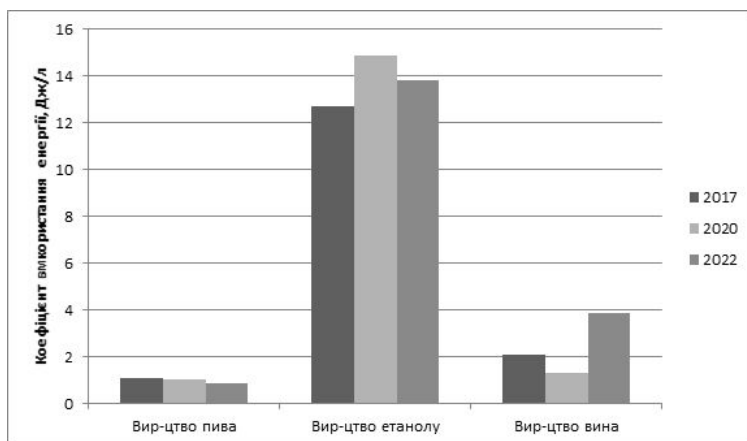


Рис. 2. Коефіцієнт використання енергії

Метою роботи є аналітичне дослідження проблем і визначення можливостей покращення екологізації спиртового виробництва за рахунок розширення сировинної бази з урахуванням зміни кліматичних умов.

Матеріали та методи. Інформаційна база дослідження – наукові статті у вітчизняних та закордонних виданнях, інформаційні електронні ресурси. *Методологічною основою* дослідження є аналіз проблем та систематизація відомостей про можливості екологізації спиртового виробництва.

Результати та обговорення. Проведені дослідження показали, що екологічність спиртового виробництва досить тісно пов'язана з аспектом вибору сировини. Вона повинна відповідати таким вимогам: бути дешевою і добре зберігатись,

мати високий вміст вуглеводів або крохмалю, які за допомогою існуючих технічних засобів можна перетворити в зброджувані вуглеводи [6]. При цьому варто приймати до уваги також і інші важливі фактори:

- наявність, доступність сировини з урахуванням умов зміни клімату;
- розташування заводу і можливість мінімізувати затрати на логістику;
- попередня обробка сировини;
- енерго- і водозатратність виробництва;
- наявність відходів і спосіб їх вторинної переробки чи утилізації;
- очищення та скидання стічних вод.

Традиційною сировиною для виробництва етилового спирту в Україні вважається цукровмісна-, крохмалевмісна та лігніноцелюзна. Основною сировиною, що містить цукор є цукровий буряк і продукти його переробки.

До цукровмісної сировини найчастіше відносять відходи цукрового виробництва, зокрема, патоку і дифузійний сік. Однак останнім часом велику увагу приділяють також і іншому продукту переробки цукрового буряка – жмиху. Зокрема, польські дослідники оцінювали ефективність виробництва етанолу з жому цукрових буряків з використанням різних підходів, включаючи варіації попередньої обробки, ферментативні процеси та мікробний гідроліз [7, 8]. Інші польські дослідники оцінювали можливості використання некрохмалистих матеріалів цукрового виробництва без ферментативної обробки для виробництва етанолу з використанням відібраних штамів дріжджів. Дослідження процесів бродіння показало, що буряковий жом дає змогу отримати більш високий вихід етанолу – 87% від теоретичного, ніж густий сік цукрових буряків – 84% від теоретичного [9]. Американські дослідники вважають, що жом цукрових буряків (ЖБЦ) у отриманому вигляді має досить високу вологість 75–85%, що ускладнює його зберігання. Силос

досліджували протягом 90 днів і виявили, що він ефективно зберігається без інокуляції молочнокислих бактерій. Вища щільність пакування дала дещо кращу якість силосу. Встановлено, що вихід етанолу з силосованого жмиху був майже на 50% вищим, ніж із сирого [10].

До крохмалевмісної сировини відносять зернові культури, а саме пшеницю, ячмінь, кукурудзу, жито, а також картоплю. Однак із зміною клімату велику увагу привертають такі культури, як цукрове сорго і батат. Ці культури краще адаптовані до умов глобального потепління. Зокрема, цукрове сорго це одна з найбільш посухостійких рослин, йому ідеально підходять наші кліматичні умови. З однорічних культур цукрове сорго є однією із найбільш високоенергетичних та економічно вигідних культур, виходячи з наступних показників: – високий фотосинтетичний потенціал (у два рази вищий, ніж у цукрових буряків, пшениці та інших культур); – низька потреба у водоспоживанні (значно нижча, ніж у кукурудзи, ячменю, пшениці). На створення однієї одиниці сухої речовини сорго в середньому витрачає 300 частин води, кукурудза – 340, пшениця – 515, ячмінь – 545, цукровий буряк – 470. Висока стійкість до посухи цукрового сорго забезпечується ксерофітністю, потужною кореневою системою, щільним епідермісом, білим восковим нальотом на листках у жаркий період. Крім того, сорго здатне припиняти ріст у період особливо несприятливих умов для росту й розвитку, перебуваючи в анабіозі до настання сприятливих умов. Цукрове сорго відрізняється високою урожайністю зеленої маси, що дає можливість отримувати 4–5 т етанолу з 1 га посівів, а також низькою нормою висіву насіння (5–7 кг/га) [11–13].

Ще одна культура, яка може вважатися перспективною при виробництві спирту, є батат або солодка картопля (*Ipomoea batatas*). Родом ця рослина із Північної Америки, але вже непогано освоюється в Україні, добре переносить жаркий клімат і відносно стійкий до посухи. І хоча в даний час він виступає в якості конкурента картоплі, так як має більший розмір, відмінні смакові та поживні якості, стійкість до хвороб і шкідників, а також вищі показники врожайності. Так як батат не вражається колорадським жуком і слабо вражається хворобами, він не потребує оброблення ядохімікатами. Зелена маса батату може використовуватися в якості корму для тварин і птахів. Тому сама культура є досить екологічною [14].

Вміст цукрів солодкої картоплі становить 4,5–7,5% до сирі маси, а вміст крохмалю складає 12,5–14,5%. Урожайність батату становить від 40 до 100 т з гектару. Варто зазначити, що при збиранні урожаю завжди мають місце травмовані і дрібні бульби і саме вони можуть бути використані для виробництва алкоголю (особливо на міні-спиртзаводах).

Проведені дослідження в умовах України показали, що вихід спирту складав 64,88 дал з 1 т батату. Органолептичні характеристики одержаного спирту наведені в табл. 1 [15].

Таблиця 1

Органолептичні характеристики спирту з батату

Назва	Зовнішній вигляд	Колір	Смак	Запах
Спирт з батату	Прозора рідина без сторонніх часток	Безбарвна рідина	Чистий, без стороннього присмаку	Приємний фруктовий аромат
Спирт з картоплі	Прозора рідина без сторонніх часток	Безбарвна рідина	Характерний для цього виду, але дещо різкий	Різкий, з вираженим запахом.

Аналізуючи перспективні культури для виробництва спирту, варто взяти до уваги не лише крохмалевмісні, але й інуліновмісні культури, зокрема топінамбур. Людину здавна привертала унікальна сила цієї рослини, яка дозволяє йому вижити в самих екстремальних

умовах навколишнього середовища. Стійкість цієї рослини до посухи можна пояснити розвиненістю кореневої системи цієї рослини. Топінамбур має дуже міцну розгалужену кореневу систему, завдяки чому використовує поживні речовини ґрунту набагато краще, ніж інші рослини, наприклад картопля. А великий вегетативний апарат, крім цього, дозволяє використовувати сонячну енергію в достатніх кількостях.

Беручи до уваги, що у топінambuра вегетаційний період триває 150–180 днів, то стає очевидно, чому ця культура дає високий урожай. Характерною особливістю топінambuра є його висока продуктивність. Його досліджували в різних географічних зонах. І практично у всіх зонах, починаючи від південних до північних, він давав значний урожай, який зростав у південному напрямку. Автори цієї статті були очевидцями невідомого сорту топінambuру, вирощуваного в Казахстані, врожайність якого досягала 70 т/га і більше.

Топінамбур також відрізняється не тільки невибагливістю до ґрунтів і клімату, але і до агротехніки.

Серед важливих переваг топінambuра слід відзначити його економічність. Оскільки топінамбур можна кілька років вирощувати на одному місці, то витрати на його посадку можна розподілити на кілька років. Тварини поїдають топінамбур в сирому вигляді, що дозволяє заощадити на його запарюванні та інших операціях з підготовки кормів [16].

Крім цього, встановлено, що 1 га посівів топінambuру виробляє в 1,5 разів більше кисню, ніж лісонасадження на відповідній площі, що має істотне значення в сучасних екологічних умовах [17]. Також варто зазначити, що топінамбур можна використовувати для очищення забруднених територій [18].

Топінамбур в даний час визнано новою енергетичною культурою для виробництва біоетанолу; однак виробництво етанолу з топінambuра має довгу історію. У 19 столітті французький хімік Ансельм Паєн рекламував у Франції бульби топінambuра для виробництва пива. Цікаво, що пиво, отримане з бульб топінambuра, солодке і має фруктовий смак [19]. Завдяки унікальному аромату етанол із топінambuра також використовувався для виробництва бренді у Франції та Німеччині, а також sake в Японії [20]. Під час і після Першої світової війни британський Департамент наукових і промислових досліджень проводив масштабні дослідження з розробки паливного етанолу з топінambuра. Було продемонстровано, що топінамбур здатний виробляти таку ж кількість зброджуваних вуглеводів на гектар землі, як і цукровий буряк. За даними наукової літератури він становить 95–114 л/га [21–22].

Що стосується переробки відходів, а саме лігніноцелюлозної біомаси, то нажаль, вона переробляється не так легко, як сировина першого покоління, і вимагає багатоетапної обробки, що збільшує кінцеву вартість виробленого біоетанолу. Кожен етап – попередня обробка, гідроліз, ферментація та дистиляція – вимагає витрат енергії та видалення залишків.

Останнім часом спеціалістів зацікавила зелена маса водоростей, таких як ряска, хлорелла, що обіцяє багато переваг у порівнянні з вищенаведеною сировиною. Але поки виробництво біоетанолу з використанням водоростей досліджується переважно в лабораторних масштабах [23].

Українські вчені вважають, що промивні води фруктових вичавок – відхід виробництва пектину – також можуть бути використані для зброджування в спирт [24].

Вважають, що в якості сировини для спиртового виробництва можуть бути використані такі зернові культури з високим вмістом крохмалю, як амарант і сориз або сорго рисозернисте [25].

Ще одна дуже важлива проблема, яка займає суттєву частку в екологічній характеристиці спиртових заводів, це відходи і стічні води виробництв. В цій галузі працює багато вчених. Зокрема українськими вченими обґрунтована можливість зменшення об'єму післяспиртової мелясної та зернової барди шляхом повернення її на приготування сусла без погіршення якості хлібопекарських дріжджів і виходу спирту, а

також за рахунок збільшення концентрації сухих речовин зброженого сусла з 22 (традиційна технологія) до 27% і накопичення спирту в зрілій бражці до 11–12% об. Це істотно зменшить витрати пари на брагоректифікацію спирту та обсяги забруднених і важко утилізованих відходів виробництва – післяспиртової барди [24].

Взагалі, в будь-якому разі питання очистки післяспиртової барди є досить актуальним в плані екологічної характеристики спиртового виробництва. Причому даний аспект в значній мірі залежить від сировини, яку переробляє підприємство, а також технології переробки. Ступінь забруднення стічних вод визначають за фізико-хімічними і біологічними показниками – кольорністю, прозорістю, запахом, вмістом сухого залишку, рН, біохімічним споживанням кисню (БСК), хімічним споживанням кисню (ХСК) та ін. [26]

Від показника рН залежить можливість безпосереднього скиду стічних вод у природні водоймища чи необхідністю попередньої нейтралізації. Біологічне споживання кисню (БСК) показує, яку кількість кисню у міліграмах необхідно витратити на біологічне окислення органічних речовин у 1 л стоків. Через тривалість визначення біологічного споживання кисню частіше у заводській практиці використовують показник хімічного споживання кисню (ХСК) – кількість кисню у міліграмах, яка необхідна для окислення органічних сполук у 1 л води розчином біхромату калію. Визначення ХСК є найбільш надійним способом оцінки вмісту органічних сполук, оскільки хімічним способом окислюється більше речовин, ніж біологічним шляхом [26]. Цей показник є індикатором техногенного впливу на довкілля.

В таблиці наведені показники ХСК післяспиртової барди різного походження, що були визначені авторами статті [27].

Таблиця 2
**Вміст ХСК в післяспиртовій барді
з різних видів сировини**

Сировина	ХСК мг/дм ³
Зерно (кукурудза, пшениця)	30000 – 35000
Меляса	120000 – 140000
Батат	5500 – 6000

Таким чином, стічні води спиртових заводів, що переробляють крохмалевмісну і цукровмісну сировину, відносяться до категорії висококонцентрованих за органічним забрудненням. Їх склад і кількість залежать від технології виробництва спирту, а необхідна ефективність

очищення обумовлена умовами скидання. В процесі одержання спирту в барді залишаються майже всі, за виключенням крохмалю і цукрів, поживні речовини, тому барда представляє собою цінний кормовий продукт незалежно від виду використовуваної сировини.

Що стосується самої очистки, то на сьогодні застосовують механічні, хімічні, фізико-хімічні і біологічні способи очистки стічних вод. Вибір способу очистки залежить від кількості стоків, концентрації і виду забруднень, необхідного ступеня очистки, розмірів водоймища, що призначене для скидання стічних вод, а також від впливу їх на стан водоймища [28].

Існуючі технології переробки післяспиртової барди можна умовно розділити на чотири основні технологічні схеми [29–31]:

- випаровування на випарних станціях;
- біологічна очистка стічних вод шляхом аеробної переробки рідкої фази з допомогою мікроорганізмів і одержанням кормових дріжджів;
- анаеробний спосіб очистки барди з одержанням біогазу в метантенках;
- комбіновані схеми, в основу яких покладені відомі технологічні прийоми, що успішно зарекомендували себе – поділ рідкої й твердої фази післяспиртової барди на центрифугах, вирощування кормових дріжджів на субстраті, сушіння продукції.

Для утилізації мелясної барди в світовій практиці застосовується, як правило, технологія упарювання барди на випарних станціях. Однак вартість випарних станцій і

відповідно всього обладнання для утилізації, досить висока (більше 3 млн. Євро), процес випарювання вимагає значних енергетичних витрат, а утилізація одержуваного конденсату стає окремим завданням, розв'язання якого усередині технології не закладено. Процес випарювання потребує значних енергетичних витрат, а також не повністю вирішує екологічні проблеми. Все це негативно відображається на собівартості готового продукту – сухої барди. Зниження собівартості можна досягнути заміною випарювання на технологію біологічної переробки барди з одержанням концентрованих кормових дріжджів. Кормові дріжджі – це високоефективна білкова добавка до кормів з вмістом білка 45–46%.

Процеси окислення при біологічному очищенні концентрованих стічних вод супроводжуються виділенням великої кількості вільної енергії, яка може використовуватися в реакціях клітинного синтезу і для енергетичних потреб клітини. При аеробному окисленні отримання енергії є більш економічним, ніж при анаеробному, і однакова кількість субстрату здатна підтримувати значно більше біомаси аеробного активного мулу, ніж анаеробного. Процес окислення забруднень в аеробних умовах проходить з утворенням діоксиду вуглецю і води, тоді як в анаеробних умовах утворюються низькомолекулярні органічні сполуки – метан, органічні кислоти тощо. Процес очищення в аеробних умовах протікає більш глибоко, ніж в анаеробних.

Найбільш відома технологія переробки барди на біогаз заснована на анаеробному бродінні, коли барда подається в спеціальні ємності разом з анаеробними бактеріями, які переробляють поживні речовини барди і утворюють біогаз, що містить до 75% метану та за умов відповідної підготовки може бути заміником природного газу. Так, на спиртовому заводі потужністю 3000 дал спирту за добу, можна одержати впродовж року 1,8 млн м³ біогазу і 6000 т білкового корму. Використання біогазу у котельній заводу заощаджує 1500 т умовного палива за рік.

Поєднання анаеробного і аеробного способів очистки барди дає змогу очищувати її до показників, що дозволяють скидати стоки у водойми. Таким чином вирішуються одночасно кілька проблем: енергетична, екологічна й утилізації відходів [30].

Приймаючи до уваги боротьбу за екологію, однією із найбільш перспективних методів очистки є фітореMediaція. І в даному аспекті варто розглянути біологічні водоймища. Це штучні або природні водоймища, призначені для біологічної і фізичної очистки стічних вод. Особливу роль для очистки у біологічних водоймищах відіграють водні рослини, водорості і бактерії, що розкладають органічні речовини стічних вод, після чого водорості використовують продукти, що утворилися, для нарощування своєї біомаси. Під дією сонячного світла водорості виділяють кисень, необхідний для аеробного окислення органічних сполук мікроорганізмами.

В природних водоймах розвиваються типові для певних місцевостей біоценози: водорості, бактерії, гриби, найпростіші, вищі, рослини й тварини. Ці біоценози перебувають у певній біологічній рівновазі, властивій даним кліматичним та екологічним умовам. Стічні води, що потрапляють до водойм, призводять до зміни умов середовища і біологічного складу. Якщо хімічний склад та інші властивості стічних вод сталі, у водоймі складається співтовариство організмів, що відповідає новим екологічним умовам. Різні групи організмів поетапно розкладають органічні речовини вуглеводи, білки та жири на простіші сполуки. Кінцевими продуктами є мінеральні солі (сульфати, нітрати, фосфати), гази (вуглекислий газ, водень, гідрогенсульфід, аміак) і вода. Ці сполуки споживають із води водорості та вищі рослини. Водорості за наявності сонячного випромінювання засвоюють вуглекислий газ і виділяють кисень, який використовується для окиснення органічних сполук. Слід зазначити, що саме поглинання вуглекислого газу – це важливий аспект декарбонізації, що вже є суттєвим кроком в екологізації спиртового виробництва. Очищення стічних вод за допомогою мікрководоростей не створює вторинних відходів, таких як відпрацьований активний мул тощо, які потребують утилізації.

Висновки. Аналізуючи ситуацію, що склалася в спиртовій галузі, а саме: високі коефіцієнти використання енергії і води, велика кількість відходів, зокрема, післяспиртової барди, яка без ретельної очистки спричиняє забрудненість стічних вод, стає очевидним, що екологізація спиртових підприємств є вкрай важливою і актуальною. Причому, при вирішенні цієї задачі головну роль відіграє сировина. У зв'язку із глобальним потеплінням клімату варто більше уваги привернути до посухостійких культур, які призвичаєні до вирощування в зоні підвищених температур. До таких культур відноситься цукрове сорго, батат, топінамбур тощо. При проектуванні спиртових заводів варто приймати до уваги відстань до сировинної бази, щоб знизити логістичне навантаження, що теж суттєво впливає на екологічність. При виборі технологічної схеми переробки необхідно використовувати ефективні способи очистки стоків і застосовувати ті, що дають можливість користуватися альтернативною енергією (біогаз), а також очищати, охолоджувати і повторно використовувати воду в межах виробництва. Очищення стічних вод варто проводити максимально екологічними методами, до яких відносять біологічні методи і фіторемедіацію, для реалізації якої використовують біологічні водоймища. Одержані результати можуть слугувати підґрунтям при розробленні методів екологізації спиртової промисловості.

Бібліографія

1. Ethanol Market Size, Share and Trends 2024 to 2034. Precedence Research. <https://www.precedenceresearch.com/ethanol-market>. 07.11.2024.
2. Beverage Industry Continues to Drive Improvement in Water, Energy, and Emissions Efficiency. Beverage Industry Environmental Roundtable. <https://www.bieroundtable.com/wp-content/uploads/2023-BIER-Benchmarking-Executive-Summary-Report.pdf>. 05.11.2024.
3. Sustainability and Environment in the Alcohol Industry Moving Spirits. <https://movingspirits.eu/blog/sustainability-and-environment-in-the-alcohol-industry>. 04.11.2024.
4. Three climate challenges facing alcoholic beverage industry. Sia partners 2022. <https://www.sia-partners.com/en/insights/publications/three-climate-challenges-facing-alcoholic-beverage-industry>. 03.11.2024.
5. Alcohol as obstacle to environmental development. Movendy International. <https://movendi.ngo/the-issues/the-problem/obstacle-to-development-2/alcohol-as-obstacle-to-environmental-development>. 30.10.2024.
6. Олександрюк В. І., Омельченко Н. М., Кучерява В. А. Цукрове сорго як сировина для виробництва біоетанолу. Біологічні дослідження. Збірник наукових праць. Житомир: ПП «Рута». 2015. с. 449–451. <http://eprints.zu.edu.ua/16675/1/%D0%9E%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D1%80%D1%8E%D0%BA.pdf>.
7. Patelski A., Dziekońska-Kubczak U., Balcerek M., Pielech-Przybylska K., Dziugan P., Berłowska A. The Ethanol Production from Sugar Beet Pulp Supported by Microbial Hydrolysis with *Trichoderma viride*. *Energies*, 2024, № 17(4), P. 809. <https://doi.org/10.3390/en17040809>.
8. Berłowska J., Balcerek M., Dziugan P., Dziekońska-Kubczak U., Pielech-Przybylska, K., Patelski, P., Robak, K. Use of Saccharose and Structural Polysaccharides from Sugar Beet Biomass for Bioethanol Production. *Int. Agrophys.* 2020, № 34, P. 151–159. <https://doi.org/10.31545/intagr/116572>.
9. Gumienka M., Lasik M., Czarnecki Z., Szambelan K. Applicability of unconventional energy raw materials in ethanol production. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.*, 2009, № 8 (4), P. 17–24.
10. Yi Zheng, Chaowei Yu, Yu-Shen Cheng, Christopher Lee. Integrating sugar beet pulp storage, hydrolysis and fermentation for fuel ethanol production. *Applied Energy* Volume, 2012, № 93, P. 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.12.084>.
11. Левандовський Л. В., Олійничук С. Т., Ткаченко Л. В. Нетрадиційні види сировини для спиртового виробництва. Інституційний репозитарій НУХТ. 2011. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/531>.
12. Кусяк Г. Т., Думанська Ю. А., Кучерява В. А., Омельченко Н. М. Використання цукрового сорго, як біоенергетичної культури при виробництві біоетанолу. Екологічні проблеми традиційних і альтернативних видів енергії. Горбуновські читання. Чернівці: ЧФ НТУ «ХП», 2014. С. 56–58.

13. Гунчак Т. І. Особливості вирощування сорго цукрового в якості сировини для виробництва біопалива в умовах Південно-західного Лісостепу України. Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків, 2014, № 21, С. 240–244.
14. Sabadoš V., Ivan J., Sekulić O., Dorotić D. Results of investigation with different varieties of sweet potato in sombor area. Матеріали VIII International Scientific Agriculture Simposium, Jahorina, Oktober, 5–8. 2017. <https://agrosym.ues.rs.ba>, https://agrosym.ues.rs.ba/article/showpdf/BOOK_OF_PROCEEDINGS_2017_FINAL.pdf.
15. Данілова К. О., Гріненко І. Г., Грушецький Р. І. Батат як перспективна сировина для одержання спирту етилового і крафтових напоїв на його основі. Наукові праці Національного університету харчових технологій, 2024, Т. 30, № 3, С. 156–167. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2024-30-3-14>.
16. Грушецький Р. І., Гріненко І. Г., Хомічак Л. М. Природні джерела здоров'я. К.: Аграрна наука, 2016. 108 с.
17. Jerusalem Artichoke for Eating and Drinking. Die Topinambur Manufactur. <https://www.topinambur-manufaktur.de/origin-botany-and-varieties>. Дата звернення 07.11.2024.
18. Antonkiewicz J., Kołodziej B., Bielińska E., Witkiewicz R., Tabor S. Using Jerusalem Artichoke to Extract Heavy Metals from Municipal Sewage Sludge Amended Soil. Pol. J. Environ. Stud., 2018, T. 27, № 2, P. 513-527. <https://doi.org/10.15244/pjoes/75200>.
19. Hu J. F., Qiu S. Y. Research process in ethanol production by the fermentation of Jerusalem artichoke. Liq.-Mark. Sci. Technol., 2009, № 182, P. 100–104.
20. Hui, Y. H. Data Source Book for Food Scientists and Technologist. Wiley-Interscience, 1991. 976 p.
21. Roy M., Sachs Clifford B. Low, Vasavada A., Sully Michael J., Williams Lynn A., Ziobro George C. Fuel alcohol from Jerusalem artichoke. California Agriculture, 1981, № 9. с. 4–6.
22. Linxi Yang, Quan Sophia He, Kenneth Corscadden, Chibuike C. Udenigwe. The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production. Biotechnology Reports, 2015, Vol. 5, P. 77–88. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.12.004>.
23. Продукти переробки цукрових буряків як сировина для виробництва хімічних речовин та біорозкладних полімерів. УкрЦУКОР. 2021. <http://ukrsugar.com/uk/post/produkti-pererobki-cukrovih-burakiv-ak-sirovina-dla-virobnictva-himicnih-recovin-ta-biorozkladnih-polimeriv-castina-1>. 31.10.2024.
24. Олійнічук С. Т., Левандовський Л. В., Атаманенко О.Б., Шалабанов С.М. Сировина для виробництва спирту. Харчова і переробна промисловість, 1995, № 10, С. 26–27. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/1736>.
25. Ghosh Ray S., Ghangrekar M.M. Comprehensive review on treatment of high-strength distillery wastewater in advanced physico-chemical and biological degradation pathways International Journal of Environmental Science and Technology, 2019, 16, № 1, С. 527–546. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1786-8>.
26. Shinde, P.A., Ukarde, T.M., Pandey, P.H. Distillery spent wash: An emerging chemical pool for next generation sustainable distilleries. Journal of Water Process Engineering., 2020. № 36, 101353 <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101353>.
27. КНД 211.1.4.021-95. Методика визначення хімічного споживання кисню (ХСК) в поверхневих і стічних водах.
28. Levandovskiy L., Vitriak O., Hrabovska O. Ecologization of joint production of alcohol and bakery yeast from molasses. Товари і ринки, 2020, Вип. 36, № 4. [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2020\(36\)07](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2020(36)07).
29. Zielińska, M., Bułkowska, K., Mikucka, W. Valorization of distillery stillage for bioenergy production: A review. Energies, 2021, №14, 7235. <https://doi.org/10.3390/en14217235>.
30. Mikucka, W, Zielińska, M. Distillery Stillage: Characteristics, Treatment, and Valorization. Applied Biochemistry and Biotechnology, 2020, V. 792, p. 770–793. <https://doi.org/10.1007/s12010-020-03343-5>.
31. Шворов С., Поліщук В., Давіденко Т. Інтенсифікація процесу метанового бродіння в біогазових установках на основі використання мелясної барди. Енергетика та автоматика. 2019. № 1. <http://dx.doi.org/10.31548/energiya2019.01.037>.

References

1. Ethanol Market Size. Share and Trends 2024 to 2034. Precedence Research. <https://www.precedenceresearch.com/ethanol-market>. 07.11.2024.
2. Beverage Industry Continues to Drive Improvement in Water, Energy, and Emissions Efficiency. Beverage Industry Environmental Roundtable. <https://www.bieroundtable.com/wp-content/uploads/2023-BIER-Benchmarking-Executive-Summary-Report.pdf>. 05.11.2024.
3. Sustainability and Environment in the Alcohol Industry Moving Spirits. <https://movingspirits.eu/blog/sustainability-and-environment-in-the-alcohol-industry/>.
4. Three climate challenges facing alcoholic beverage industry. Sia partners 2022. <https://www.sia-partners.com/en/insights/publications/three-climate-challenges-facing-alcoholic-beverage-industry>. 03.11.2024.
5. Alcohol as obstacle to environmental development. Movendi International. <https://movendi.ngo/the-issues/the-problem/obstacle-to-development-2/alcohol-as-obstacle-to-environmental-development>. 30.10.2024.
6. Oleksandryuk, V. I., Omelchenko, N. M., Kucheriava, V. A. (2015). Tsukrove sorgo yak syrovyna dlya vyrobnytstva bioetanolu. Biologichni doslidzennya [Sugar sorghum as raw material for bioethanol production] Zbirnyk naukovykh prats. Gitomir: PP «Ruta», 449–451. <http://eprints.zu.edu.ua/16675/1/%D0%9E%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%81%D0%B0%D0%BD%D0%B4%D1%80%D1%8E%D0%BA.pdf> [in Ukrainian].
7. Patelski, A., Dziekońska-Kubczak, U., Balcerek, M., Pielech-Przybylska, K., Dziugan, P., Berłowska, A. (2024). The Ethanol Production from Sugar Beet Pulp Supported by Microbial Hydrolysis with *Trichoderma viride*. *Energies*, 17(4), 809. <https://doi.org/10.3390/en17040809>.
8. Berłowska, J., Balcerek, M., Dziugan, P., Dziekońska-Kubczak, U., Pielech-Przybylska, K., Patelski, P., Robak, K. (2020) Use of Saccharose and Structural Polysaccharides from Sugar Beet Biomass for Bioethanol Production. *Int. Agrophys.* 34, 151–159. <https://doi.org/10.31545/intagr/116572>.
9. Gumienna, M., Lasik, M., Czarnecki, Z., Szambelan, K. (2009) Applicability of unconventional energy raw materials in ethanol production. *Acta Sci. Pol., Technol. Aliment.*, 8 (4), 17–24.
10. Yi Zheng, Chaowei Yu, Yu-Shen Cheng, Christopher Lee (2012). Integrating sugar beet pulp storage, hydrolysis and fermentation for fuel ethanol production. *Applied Energy* Volume, 93, 168–175. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.12.084>.
11. Levandovskiy, L., Oliynichuk, S. T., Tkachenko L. V. (2011). Netradytsiyni vydy syrovyny dlya spyrtoвого vyrobnytstva [Non-traditional types of raw materials for alcohol production] Instytutsiyni repozytarii NUHT. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/531>. [in Ukrainian].
12. Kusiak, G. T., Dumanska, Yu. A., Kucheryava, V. A., Omelchenko N. M. (2014). Vykorystannya tsukrovogo sorgo yak bioenergetychnoi kultury pry vyrobnytstvi bioetanolu [The use of sugar sorghum as a bioenergy crop in the production of bioethanol]. *Ekologichni problemy tradytsiynykh I alternatyvnykh vydiv energii. Gorbunovski chytannya. Chernivtsi, ChF NTU «HPI»*, 56–58. [in Ukrainian].
13. Gunchak, T. I. (2014). Osoblyvosti vyroscuvannya sorgo tsukrovogo v yakosti syrovyny dlya vyrobnytstva biopalyva v umovah Pivdenno-zahidnogo Lisostepu Ukrainy [Features of growing sugar sorghum as a raw material for the production of biofuel in the conditions of the South-Western Forest Steppe of Ukraine]. *Naukovi pratsi Instytutu bioenergetychnykh kultur I tsukrovyyh buryakiv*, 21, 240–244 [in Ukrainian].
14. Sabadoš, V., Ivan, J., Sekulić, O., Dorotić, D. (2017). Results of investigation with different varieties of sweet potato in sombor area. VIII International Scientific Agriculture Symposium, Jahorina, Oktober, 5–8. <https://agrosym.ues.rs.ba>.
15. Danilova, K. O., Grinenko, I. G., Grushetski, R. I. (2024). Batat yak perspektyvna syrovyna dlya odergannya spyrty etylovogo I kraftovykh napoiv na yoho osnovi [Sweet potato as a promising raw material for obtaining ethyl alcohol and craft drinks based on it]. *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii*, 30(3), 156–167. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2024-30-3-14>. [in Ukrainian].
16. Grushetski, R. I., Grinenko, I. G., Homichak, L. M. (2016). Pryrodni dzherela zdorovia. K.: Agrarna nauka, 108 p. [in Ukrainian].
17. Jerusalem Artichoke for Eating and Drinking. Die Topinambur Manufactur. <https://www.topinambur-manufaktur.de/origin-botany-and-varietes>. 07.11.2024.

18. Antonkiewicz, J., Kołodziej, B., Bielińska, E., Witkiewicz, R., Tabor, S. (2018). Using Jerusalem Artichoke to Extract Heavy Metals from Municipal Sewage Sludge Amended Soil. *Pol. J. Environ. Stud.*, 27 (2), 513–527. <https://doi.org/10.15244/pjoes/75200>.
19. Hu, J. F., Qiu, S. Y. (2009). Research process in ethanol production by the fermentation of Jerusalem artichoke. *Liq.-Mark. Sci. Technol.*, 182, 100–104.
20. Hui, Y. H. (1991). *Data Source Book for Food Scientists and Technologist*. Wiley-Interscience, 976 p.
21. Roy M., Sachs Clifford B. Low, Vasavada A., Sully Michael J., Williams Lynn A., Ziobro George C. (1981) Fuel alcohol from Jerusalem artichoke. *California Agriculture*, 9. P.4–6.
22. Linxi Yang, Quan Sophia He, Kenneth Corscadden, Chibuike C. Udenigwe (2015). The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production. *Biotechnology Reports*, 5, 77–88. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2014.12.004>.
23. Produkty pererobky tsukrovyykh buriakiv yak syrovyna dla vyrobnytstva khimichnykh rehovyn ta biorozkladnykh polimeriv [Sugar beet processing products as raw materials for the production of chemicals and biodegradable polymers] (2021). UkrTSUKOR. <http://ukrsugar.com/uk/post/produkti-pererobki-cukrovih-burakiv-ak-sirovina-dla-virobnictva-himicnih-recovin-ta-biorozkladnih-polimeriv-castina-1>. 31.10.2024 [in Ukrainian].
24. Oliynichuk, S. T., Levandovskiy, L. V., Atamanenko, O. B., Shalabanov, S. M. (1995). Syrovyna dla vyrobnytstva spyrtu [Raw material for the production of alcohol] *Kharchova i pererobna promyslovist*, 10, 26–27. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/1736>. [in Ukrainian].
25. Ghosh Ray, S., Ghangrekar, M. M. (2019). Comprehensive review on treatment of high-strength distillery wastewater in advanced physico-chemical and biological degradation pathways *International Journal of Environmental Science and Technology*, 16 (1), 527–546. <https://doi.org/10.1007/s13762-018-1786-8>.
26. Shinde, P. A., Ukarde, T. M., Pandey, P. H. (2020). Distillery spent wash: An emerging chemical pool for next generation sustainable distilleries. *Journal of Water Process Engineering*. 36, 101353. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2020.101353>.
27. KND 211.1.4.021-95. Metodika viznachennya hImIchnogo spozhivannya kisnyu (HSK) v poverhnevih I stIchnih vodah/[in Ukrainian].
28. Levandovskiy, L., Vitriak, O., Hrabovska, O. (2020). Ecologization of joint production of alcohol and bakery yeast from molasses. *International Scientific-practical Journal Commodities and Markets*. 36(4). 74–81. [https://doi.org/10.31617/tr.knute.2020\(36\)07](https://doi.org/10.31617/tr.knute.2020(36)07).
29. Zielińska, M., Bułkowska, K., Mikucka, W. (2021). Valorization of distillery stillage for bioenergy production: A review. *Energies*, 14, 7235. <https://doi.org/10.3390/en14217235>.
30. Mikucka, W., Zielińska, M. (2020) Distillery Stillage: Characteristics, Treatment, and Valorization. *Applied Biochemistry and Biotechnology* 792, 770–793. <https://doi.org/10.1007/s12010-020-03343-5>.
31. Shvorov, S., Polischuk, V., Davidenko, T. (2019). Intensyfikatsiia protsesu metanovoho brodinnia v biohazovykh ustanovkakh na osnovi vykorystannia meliasnoi bardy [Intensification of the methane fermentation process in biogas plants based on the use of molasses]. *Energetyka ta avtomatyka*. <http://dx.doi.org/10.31548/energiya> 2019.01.037 [in Ukrainian].

УДК [582.284:577.151.54]: 664.292

СКРИНІНГ ШТАМІВ *TRAMETES VERSICOLOR* ЯК ПОТЕНЦІЙНИХ
ПРОДУЦЕНТІВ ПЕКТИНМЕТИЛЕСТЕРАЗИ

Зубик П. Р., аспірант

<https://orcid.org/0000-0003-0435-0254>

Клечак І. Р., к.т.н., доцент,

доцент кафедри промислової біотехнології та біофармації

<https://orcid.org/0000-0002-7382-0259>

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-07>

Предмет. Соки є одним з найпопулярніших напоїв у світі, оскільки вони містять багато корисних речовин. Для їх виробництва використовуються різноманітні ферменти, перш за все пектинметилестерази, які відіграють важливу роль у процесах переробки сировини: покращують якість і збільшують вихід кінцевого продукту. Серед об'єктів біотехнології особливе місце займають базидієві макроміцети виду *Trametes versicolor*. Ці макроміцети здатні синтезувати пектинметилестерази, що робить їх перспективними для використання в харчовій промисловості. **Мета.** Вивчення потенціалу штамів *Trametes versicolor* як продуцентів для виробництва пектинметилестерази. **Методи.** Об'єктами досліджень виступали три штами *T. versicolor* (*T. versicolor* 353, *T. versicolor* 1689 і *T. versicolor* 5094), отримані з Колекції шапинкових грибів Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України. Культивування здійснювали в глюкозо-пептоно-дріжджовому середовищі за статичного режиму при температурі $28 \pm 1^\circ\text{C}$ упродовж 14 діб. В кінці культивування визначали рівень рН потенціометрично; вихід біомаси і кількість сухих речовин гравіметрично; вміст редукуючих речовин спектрофотометрично; активність пектинметилестерази титриметрично. Статистичну обробку даних виконували за допомогою критерію Дункана. **Результати.** Штам *T. versicolor* 353 відзначився найбільшим виходом біомаси ($C_{\text{БМ}} = 5,96 \pm 0,18 \text{ г/дм}^3$) та найефективнішим споживанням редукуючих речовин ($E_{\text{РР}} = 24,37 \pm 0,82\%$). Встановлено, що рівень споживання сухих речовин всіх штамів був однаковим ($E_{\text{СР}} = 27,60\text{--}31,16\%$). Штам *T. versicolor* 5094 виявив найвищу активність ПМЕ ($251,11 \pm 50,48 \text{ од/дм}^3$) і продуктивність синтезу ($v = 35,17\text{--}55,44 \text{ од/г}_{\text{БМ}}$), що перевищує показники штамів *T. versicolor* 1689 (майже вдвічі) та *T. versicolor* 353 (на 20%). **Сфера застосування результатів.** Отримані результати вказують на необхідність подальших досліджень штаму *T. versicolor* 5094 для оптимізації виходу пектинметилестерази.

Ключові слова: базидіоміцети, *Trametes*, пектинолітичні ферменти, ферментативна активність, пектинметилестераза.

SCREENING OF *TRAMETES VERSICOLOR* STRAINS
AS POTENTIAL PRODUCERS OF PECTIN METHYLESTERASE

Pavlo Zubyk, Postgraduate

<https://orcid.org/0000-0003-0435-0254>

Inna Klechak, PhD, Engineering, Associate Professor, Associate Professor of

Department of industrial biotechnology and biopharmacy

<https://orcid.org/0000-0002-7382-0259>

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Subject. Juices are one of the most popular beverages in the world because they are not only tasty, but also contain many nutrients. Various enzymes are used for their production, primarily pectin methylesterases, which play an important role in the processing of raw materials, improving the quality and increasing the yield of the final product. Among the biotechnological objects that can synthesize these enzymes, a special place is occupied by basidiomycetes, such as *Trametes versicolor*. These fungi are capable of synthesizing pectin methyl esterase, which makes them promising for use in the food industry. **Purpose.** To investigate the potential of *Trametes versicolor* as a producer for the production of pectin methyl esterase. **Methods.** Three strains of *T. versicolor* (*T. versicolor* 353, *T. versicolor* 1689 and

T. versicolor 5094) obtained from the Collection of Cap Fungi of the M.G. Kholodny Institute of Botany of the National Academy of Sciences of Ukraine were used as objects of study. Cultivation was carried out in glucose-peptone-yeast medium under static conditions at $28 \pm 1^\circ\text{C}$ for 14 days. At the end of cultivation, the pH level was determined potentiometrically; biomass yield and amount of dry matter gravimetrically; content of reducing substances spectrophotometrically; pectin methylesterase activity titrimetrically. Statistical data processing was performed using Duncan's test. **Results.** The strain *T. versicolor* 353 was distinguished by the highest biomass yield ($C_{\text{BM}} = 5.96 \pm 0.18 \text{ g/dm}^3$) and the most effective consumption of reducing substances ($E_{\text{RS}} = 24.37 \pm 0.82\%$). It was established that the level of consumption of dry matter of all strains was the same ($E_{\text{DS}} = 27.60\text{--}31.16\%$). *T. versicolor* 5094 strain showed the highest PME activity ($251.11 \pm 50.48 \text{ units/dm}^3$) and synthesis productivity ($v = 35.17\text{--}55.44 \text{ units/g}_{\text{BM}}$), which exceeds the indicators of *T. versicolor* 1689 strains (almost twice) and *T. versicolor* 353 (by 20%). **Scope of results.** The results obtained indicate the need for further research aimed at optimizing the yield of pectin methyl esterase from *T. versicolor* 5094 strain and the use of this enzyme in industrial processes.

Key words: basidiomycetes, *Trametes*, pectinolytic enzymes, enzymatic activity, pectin methyl esterase.

Постановка проблеми. Фрукти є важливим джерелом харчових волокон, мінералів та вітамінів, і, крім споживання у свіжому вигляді, вони мають високу комерційну цінність завдяки виробництву з них соків, що визначає їхню важливість у галузі напоїв. Проте, присутність зважених часток, зокрема пектинових речовин, підвищує в'язкість і спричиняє помутніння соку, погіршуючи органолептичні показники та привабливість для споживача [1]. Для покращення зовнішнього вигляду, текстури та смакових якостей сік піддається етапам освітлення, таким як центрифугування і фільтрація. Однак ці методи не завжди ефективно видаляють дрібніші частки, що залишаються у зваженому стані [2].

Одним із ефективних способів зниження в'язкості та усунення мутності є попередня обробка соку пектинолітичними ферментами (пектиназами), які розкладають пектинові сполуки, роблячи їх більш розчинними у рідкій фазі. Пектинази відіграють вирішальну роль у харчовій промисловості, особливо у виробництві фруктових соків та вина, і значно сприяють процесу екстракції та освітлення [3]. Пектинолітичні ферменти становлять близько 25% світового ринку харчових ферментів, що підкреслює їх важливість для промисловості [4].

Пектинестерази, які використовуються у процесі освітлення фруктових соків, допомагають покращити якість продукту завдяки перетворенню пектину на пектинову кислоту, яку згодом деполімеризують полігалактуранази та ліази. Хоча пектинестерази безпосередньо не впливають на в'язкість та мутність соку, їх дія відкриває можливості для подальшої обробки пектинових компонентів, забезпечуючи ефективне видалення залишкових помутнінь [4, 5].

Пектинестерази класифікують на пектинметилестеразу (ПМЕ) (EC3.1.1.11) та пектинацетилестеразу (EC3.1.1.6). Частіше у промисловості використовується ПМЕ. Цей фермент відщеплює метильну групу від етерифікованих ділянок галактуранової кислоти в ланцюгу пектину, що призводить до утворення полігалактуранової кислоти [6, 7].

ПМЕ синтезується численними мікроорганізмами, в тому числі мікроміцетами [8]. Грибна ПМЕ відіграє важливу роль у їх життєвому циклі, допомагаючи в інфікуванні рослин родами *Aspergillus*, *Botrytis* і *Fusarium*. Фермент сприяє здатності цих грибів руйнувати клітинні стінки рослин, що полегшує колонізацію [9].

ПМЕ можна отримати шляхом твердофазного або глибинного культивування. Одним із перспективних видів-продуцентів є представники мікроміцетів [9-13]. Так, Patidar та ін. культивували *A. tubingensis* на фруктових шкірках та вичавках. Вихід ферменту коливався в межах 2,2 – 44,64 од/г субстрату. Максимальний вихід спостерігали при використанні шкірок папаї з початковою вологістю 86% як субстрату [10]. Ще одним штамом, що використовується у для біосинтезу ПМЕ є *Penicillium notatum*. Як субстрат в цьому випадку було використано суміші апельсинових шкірок та пшеничних висівок.

Найбільш оптимальним виявилось співвідношення 1 : 1, що сприяло виходу ферменту на рівні 23,5 од/г субстрату за хвилину [11].

Твердофазне культивування має обмеження через недостатній контроль параметрів та труднощі з виділенням ферментів із субстрату, що ускладнює масштабування та знижує загальний вихід ферментів. Частіше у промисловості для отримання ферментів використовується глибинне культивування, тому певна частка досліджень спрямована на вивчення біосинтезу пектинметилестерази на типових рідких поживних середовищах. *P. variable* культивували на мінеральному середовищі з різними джерелами вуглецю, в тому числі глюкозою. Вихід ферменту в цьому випадку складав 19,46 мкг/см³ [12]. Подібним чином культивували *A. heteromorphus*, для якого зафіксована активність ферменту переважала 100 од [13].

В останні роки базидієві макроміцети все активніше стають об'єктом досліджень. Особливу увагу привертають їх комплекси ферментів, які здатні до розкладання лігноцелюлозної біомаси [14]. Клітинна стінка рослин є основним об'єктом дії грибів, оскільки складається з целюлози, геміцелюлози, лігніну та пектину, які піддаються деградації під час росту макроміцетів. Ефективність процесу біодеградації рослинних полісахаридів визначається активністю позаклітинних ферментів, що розкладають полісахариди, включаючи пектин [15]. У *T. versicolor* підтверджено наявність генів родини вуглеводних естераз (CE), в тому числі пектинметилестерази (CE8) [16]. Наявні роботи [15, 17] спрямовані на вивчення полігалактуроаз і пектинліаз, тому дослідження синтезу пектинметилестераз *T. versicolor* є актуальним.

Метою роботи було вивчення синтезу пектинметилестераз штамами *T. versicolor* у глибинній культурі.

Матеріали та методи. Об'єктами досліджень були 3 штами виду *Trametes versicolor* (L.) Lloyd: *T. versicolor* 353, *T. versicolor* 1689 і *T. versicolor* 5094, отримані з Колекції шапинкових грибів Інституту ботаніки ім. М.Г. Холодного НАН України (ІБК) [18].

Дослідження росту і ферментативної активності здійснювали на глюкозо-пептоно-дріжджовому середовищі складу (г/дм³): глюкоза – 25,0, пептон – 3,0, дріжджовий екстракт – 3,0, MgSO₄·7H₂O – 0,25 [19]. Вихідне рН встановлювали на рівні 6,8 ± 0,2 використовуючи 0,1 н розчини КОН та НСІ.

Засів проводили шляхом внесення трьох дисків із семиденною культурою, попередньо вирощеною на агаризованому ячмінно-солодовому екстракті. Культивування здійснювали в статичному режимі (без перемішування) у колбах об'ємом 250 см³ із 50 см³ живильного середовища за температури 28 ± 1°C упродовж 14 діб [20].

Після завершення культивування від культуральної рідини відділяли міцелій фільтруванням та висушували до сталої маси за 105 ± 5°C для визначення вмісту абсолютно сухої біомаси (*C_{БМ}*, г/дм³). У культуральній рідині визначали рН потенціометрично [19], вміст редуруючих речовин спектрофотометрично (з використанням реактиву DNS за калібрувальним графіком за глюкозою) [21], вміст сухих речовин гравіметрично.

Для визначення активності пектинметилестерази в культуральній рідині використовували 1% розчин пектину. За одиницю пектинестеразної активності (ПМЕ, од) приймали таку кількість ферменту, що каталізує утворення 1 мкЕк кислоти за хвилину [22].

Розраховували економічний коефіцієнт за редуруючими речовинами (*E_{PP}*, %) та сухими речовинами (*E_{CP}*, %) [23].

Специфічну активність (продуктивність) пектинметилестерази (*ν*, од/(г_{БМ})) знаходили за формулою [24]:

$$\nu = \frac{ПМЕ}{C_{БМ}} \quad (1)$$

Статистичну обробку даних проводили, використовуючи тест Дункана. Усі експерименти виконувалися в трьох повторностях, а результати вважалися статистично достовірними при значенні $p\text{-value} < 0,05$. Обробку даних і побудову графіків здійснювали за допомогою програмного забезпечення Excel (США).

Результати та обговорення. Оцінка культивування штамів досліджуваних штамів *T. versicolor* представлена у таблиці 1.

Таблиця 1

Основні показники культивування штамів *T. Versicolor*

Показник	Штам		
	<i>T. versicolor</i> 353	<i>T. versicolor</i> 1689	<i>T. versicolor</i> 5094
pH	$4,56 \pm 0,03^b$	$4,78 \pm 0,03^a$	$4,79 \pm 0,05^a$
C_{BM} , г/дм ³	$5,96 \pm 0,18^a$	$5,34 \pm 0,03^b$	$5,57 \pm 0,19^{ab}$
EK_{PP} , %	$24,37 \pm 0,82^a$	$21,99 \pm 0,14^b$	$22,97 \pm 0,78^{ab}$
EK_{CP} , %	$29,91 \pm 1,25^a$	$29,19 \pm 0,16^a$	$29,13 \pm 1,53^a$

Примітки: результати представлені у вигляді середнє значення $\pm SD$ значень, отриманих за трьома вимірюваннями. Різні відповідні літери вказують на значні відмінності між штамами при $p < 0,05$ за критерієм Дункана

Отримані дані з табл. 1 вказують на різні стратегії росту штамів *T. versicolor* на глюкозо-пептоно-дріжджовому середовищі. *T. versicolor* 353 показав нижче значення pH, порівняно з *T. versicolor* 1689 і *T. versicolor* 5094. Це може свідчити про особливості його метаболізму, зокрема, накопичення органічних кислот в ході росту. У той же час, штами *T. versicolor* 1689 і *T. versicolor* 5094 продемонстрували вищий рівень pH, що може бути ознакою менш інтенсивного метаболізму. Це узгоджується з даними літератури, які вказують на те, що активний ріст базидієвих макроміцетів часто супроводжується зниженням pH середовища [25]. Найбільший вихід біомаси продемонстрував штам *T. versicolor* 353, значення C_{BM} якого є на 12% вищим, порівняно з *T. versicolor* 1689. Штам *T. versicolor* 5094 показав проміжне значення C_{BM} , яке не відрізняється статистично ні від *T. versicolor* 353, ні від *T. versicolor* 1689. Значення виходу біомаси на глюкозо-пептоно-дріжджовому середовищі були значно вищими ніж аналогічні, отримані Клечак та ін. після культивування на глюкозо-пептоновому середовищі [23].

Вища концентрація біомаси у *T. versicolor* 353 може свідчити про ефективніше засвоєння поживних речовин та здатність до активного росту в заданих умовах. Це підтверджується значеннями економічного коефіцієнту за редукуючими речовинами. Нижчі показники C_{BM} та EK_{PP} інших штамів вказують на менш ефективне використання редукуючих речовин для приросту біомаси, що може бути пов'язано із їх залученням в інших реакціях. Відмінностей у показниках EK_{CP} між трьома штамами не зафіксовано. Це може бути пов'язано із подібними механізмами метаболізму компонентів субстрату, які забезпечують однаковий рівень його перетворення у біомасу. З літератури відомо, що компоненти субстрату значно впливають на ріст макроміцетів, навіть для штамів одного виду [26]. Значення EK_{CP} , отримані після культивування на глюкозо-пептоно-дріжджовому середовищі в цьому дослідженні, були вищими для штамів *T. versicolor* 353 і *T. versicolor* 1689, тоді як *T. versicolor* 5094 продемонстрував дещо нижчі показники порівняно з даними літератури [23].

Дані, представлені на рис. 1.а вказують на відмінності в пектинметилестеразній активності досліджених штамів *T. versicolor*. Найвищу активність продемонстрував штам *T. versicolor* 5094, значення ПМЕ якого склало $251,11 \pm 50,48$ од/л. Так, переважання середнього значення ПМЕ цього штаму порівняно з *T. versicolor* 353 становило майже 20%, а *T. versicolor* 1689 – 85%. Такі відмінності у рівнях ПМЕ між штамами можуть бути пов'язані з різною експресією пектинметилестерази [27].

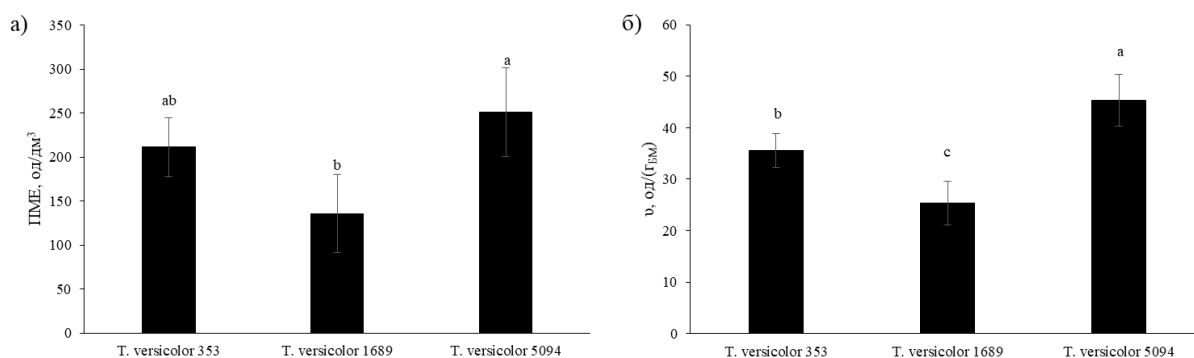


Рис. 1. Активність (а) та продуктивність синтезу (б) пектинметилестерази штамми *T. versicolor*

Результати представлені у вигляді середнє значення $\pm$ SD значень, отриманих за трьома вимірюваннями. Різні відповідні літери вказують на значні відмінності між штамми при $p < 0,05$ за критерієм Дункана

Відмінності значень розрахованої специфічної активності ферменту мали схожу тенденцію до активності в культуральній рідині (рис. 1.б), попри відмінності у накопичення біомаси. Найбільш продуктивним щодо пектинметилестерази штамом є *T. versicolor* 5094, для якого ν знаходилися в діапазоні 35,17–55,44 од/(ГБМ). Продуктивність штаму *T. versicolor* 353 була майже на 20% нижчою, тоді як це значення для штаму *T. versicolor* 1689 було майже вдвічі нижчим.

Висновки. Штам *T. versicolor* 353 характеризується найбільшим виходом біомаси та найефективнішим засвоєнням компонентів субстрату (глюкозо-пептоно-дріжджового середовища). Штами *T. versicolor* 353 і 5094 відзначилися найвищими показниками активності пектинметилестерази – $211,11 \pm 33,56$ од/дм³ та $251,11 \pm 50,48$ од/дм³ відповідно. Значення продуктивності синтезу пектинметилестерази *T. versicolor* 5094 (35,17–55,44 од/ГБМ) переважали показники інших штамів.

T. versicolor 5094 може бути використаний для подальших досліджень, що спрямовані на оптимізацію умов культивування для збільшення виходу пектинметилестерази та її використання у харчовій промисловості.

Бібліографія

- Li M., Zhang W., Guo C., Hu X., Yi J. Role of pectin characteristics in orange juice stabilization: Effect of high-pressure processing in combination with centrifugation pretreatments. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022. Vol. 215. P. 615–624. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.06.166>.
- Sarbatly R., Sariau J., Krishnaiah D. Recent Developments of Membrane Technology in the Clarification and Concentration of Fruit Juices. *Food Engineering Reviews*. 2023. <https://doi.org/10.1007/s12393-023-09346-2>.
- Perreault V., Gouin N., Bérubé A., Villeneuve W., Pouliot Y., Doyen A. Effect of Pectinolytic Enzyme Pretreatment on the Clarification of Cranberry Juice by Ultrafiltration. *Membranes*. 2021. Vol. 11, no. 1. P. 55. <https://doi.org/10.3390/membranes11010055>.
- Shrestha S., Rahman M. S., Qin W. New insights in pectinase production development and industrial applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2021. Vol. 105, no. 24. P. 9069–9087. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11705-0>.
- Kumar R., Meghwanshi G. K., Marcianò D., Ullah S. F., Bulone V., Toffolatti S. L., Srivastava V. Sequence, structure and functionality of pectin methylesterases and their use in sustainable carbohydrate bioproducts: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023. P. 125385. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125385>.
- Villarreal F., Stocchi N., ten Have A. Functional Classification and Characterization of the Fungal Glycoside Hydrolase 28 Protein Family. *Journal of Fungi*. 2022. Vol. 8, no. 3. P. 217. <https://doi.org/10.3390/jof8030217>.

7. Patel V. B., Chatterjee S., Dhoble A. S. A review on pectinase properties, application in juice clarification, and membranes as immobilization support. *Journal of Food Science*. 2022. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16233>.
8. Haile S., Ayele A. Pectinase from Microorganisms and Its Industrial Applications. *The Scientific World Journal*. 2022. Vol. 2022. P. 1–15. <https://doi.org/10.1155/2022/1881305>.
9. Xia Y., Sun G., Xiao J., He X., Jiang H., Zhang Z., Zhang Q., Li K., Zhang S., Shi X., Wang Z., Liu L., Zhao Y., Yang Y., Duan K., Ye W., Wang Y., Dong S., Wang Y., Ma Z., Wang Y. AlphaFold-guided redesign of a plant pectin methylesterase inhibitor for broad-spectrum disease resistance. *Molecular Plant*. 2024. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2024.07.008>.
10. Patidar M. K., Nighojkar S., Kumar A., Nighojkar A. Papaya peel valorization for production of acidic pectin methylesterase by *Aspergillus tubingensis* and its application for fruit juice clarification. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. 2016. Vol. 6. P. 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2016.02.008>.
11. Gayen S., Ghosh U. Pectinmethylesterase Production from mixed agro- wastes by *Penicillium notatum* NCIM. 923 in Solid-State fermentation. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*. 2011. Vol. 02, no. 02. <https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000119>.
12. Akintobi A., Oluitiola P., Olawale A., Odu N., Okonko I. Production of Pectinase Enzymes system in culture filtrates of *Penicillium variabile* Sopp. *Nature and Science*. 2012. Vol. 10, no. 7. P. 99–109.
13. Mandhania S., Jain V., Malhotra S. Culture Optimization for Enhanced Production of Microbial Pectin Methylesterase under Submerged Conditions. *Asian Journal of Biochemistry*. 2010. Vol. 5, no. 1. P. 12–22.
14. Mujtaba M., Fraceto L., Fazeli M., Mukherjee S., Savassa S. M., Araujo de Medeiros G., do Espirittto Santo Pereira A., Donnini Mancana S., Lipponen J., Vilaplana F. Lignocellulosic biomass from agricultural waste to the circular economy: A review with focus on biofuels, biocomposites and bioplastics. *Journal of Cleaner Production*. 2023. P. 136815. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136815>.
15. do Rosário Freixo M., Karmali A., Arteiro J. M. Production of polygalacturonase from *Coriolus versicolor* grown on tomato pomace and its chromatographic behaviour on immobilized metal chelates. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*. 2008. Vol. 35, № 6. P. 475–484. <https://doi.org/10.1007/s10295-008-0305-1>.
16. Sista Kameshwar A. K., Qin W. Comparative study of genome-wide plant biomass-degrading CAZymes in white rot, brown rot and soft rot fungi. *Mycology*. 2017. Vol. 9, № 2. P. 93–105. <https://doi.org/10.1080/21501203.2017.1419296>.
17. Levin L., Forchiassin F. Culture conditions for the production of pectinolytic enzymes by the white-rot fungus *Trametes trogii* on a laboratory scale. *Acta Biotechnologica*. 1998. Vol. 18, no. 2. P. 157–166. <https://doi.org/10.1002/abio.370180213>.
18. Bisko N., Lomberg M., Mykchaylova O., Mytropolska N. IBK Mushroom Culture Collection. Version 1.2. The IBK Mu-shroom Culture Collection of the M.G. Kholodny Institute of Botany. M. G. Kholodny Institute of Botany, 2020. <https://doi.org/10.15468/dzdsqu>.
19. Mykchaylova O., Poyedinok N. Antimicrobial Activity of *Fomitopsis Officinalis* (Vill.) Bondartsev & Singer in Pure Culture. *Innovative Biosystems and Bioengineering*. 2021. Vol. 5, № 4. P. 220–227. <https://doi.org/10.20535/ibb.2021.5.4.246668>.
20. Lomberg M., Krupodorova T., Krasinko V., Mykchaylova O. The antibacterial activity of culture filtrates and mycelia of selected strains of macromycetes from the genus *Hericium*. *Botanica Serbica*. 2023. Vol. 47, no. 2. P. 241–249. <https://doi.org/10.2298/botserb2302241l>.
21. Wood I. P., Elliston A., Ryden P., Bancroft I., Roberts I. N., Waldron K. W. Rapid quantification of reducing sugars in biomass hydrolysates: Improving the speed and precision of the dinitrosalicylic acid assay. *Biomass and Bioenergy*. 2012. Vol. 44. P. 117–121. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.05.003>.
22. Pednekar S., Mangaonkar K. Spectrophotometric analysis of enzymatic profile of *Carica papaya* pectinesterase. *International Research Journal of Plant Science*. 2022. Vol. 13, № 3. P. 1–6.
23. Клечак І., Митропольська Н., Атоненко Л., Нишпорська О. Особливості росту *Coriolus versicolor* у глибинній культурі. *Наукові вісми НТУУ "КПІ"*. 2009. Т. 1. С. 128–133.

24. Dagbagli S., Goksungur Y. Optimization of β -galactosidase production using *Kluyveromyces lactis* NRRL Y-8279 by response surface methodology. *Electronic Journal of Biotechnology*. 2008. Vol. 11, № 4. <https://doi.org/10.2225/vol11-issue4-fulltext-12>.
25. Elisashvili V., Metreveli E., Khardziani T., Sokhadze K., Kobakhidze A., Kachlishvili E. Review of Recent Advances in the Physiology of the Regulation of Cellulase and Xylanase Production by Basidiomycetes. *Energies*. 2023. Vol. 16, № 11. P. 4382. <https://doi.org/10.3390/en16114382>.
26. Desisa B., Muleta D., Jida M., Dejene T., Goshu A., Negi T., Martin P. Comprehending and Domesticating of Wild Growing Turkey Tail Mushroom (*Trametes versicolor*) from Ethiopia on augmented agro-industrial byproducts. *Mycological Progress*. 2024. Vol. 23, № 62. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3415923/v1>.
27. Liu Q., Talbot M., Llewellyn D. J. Pectin Methylsterase and Pectin Remodelling Differ in the Fibre Walls of Two *Gossypium* Species with Very Different Fibre Properties. *PLoS ONE*. 2013. Vol. 8, № 6. P. e65131. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065131>.

References

1. Li, M., Zhang, W., Guo, C., Hu, X., & Yi, J. (2022). Role of pectin characteristics in orange juice stabilization: Effect of high-pressure processing in combination with centrifugation pretreatments. *International Journal of Biological Macromolecules*, 215, 615–624. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.06.166>.
2. Sarbatly, R., Sariau, J., & Krishnaiah, D. (2023). Recent Developments of Membrane Technology in the Clarification and Concentration of Fruit Juices. *Food Engineering Reviews*. <https://doi.org/10.1007/s12393-023-09346-2>.
3. Perreault, V., Gouin, N., Bérubé, A., Villeneuve, W., Pouliot, Y., & Doyen, A. (2021). Effect of Pectinolytic Enzyme Pretreatment on the Clarification of Cranberry Juice by Ultrafiltration. *Membranes*, 11(1), 55. <https://doi.org/10.3390/membranes11010055>.
4. Shrestha, S., Rahman, M. S., & Qin, W. (2021). New insights in pectinase production development and industrial applications. *Applied Microbiology and Biotechnology*, 105(24), 9069–9087. <https://doi.org/10.1007/s00253-021-11705-0>.
5. Kumar, R., Meghwanshi, G. K., Marcianò, D., Ullah, S. F., Bulone, V., Toffolatti, S. L., Srivastava, V. (2023). Sequence, structure and functionality of pectin methylsterases and their use in sustainable carbohydrate bioproducts: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 125385. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.125385>.
6. Villarreal, F., Stocchi, N., & ten Have, A. (2022). Functional Classification and Characterization of the Fungal Glycoside Hydrolase 28 Protein Family. *Journal of Fungi*, 8 (3), 217. <https://doi.org/10.3390/jof8030217>.
7. Patel, V. B., Chatterjee, S., & Dhoble, A. S. (2022). A review on pectinase properties, application in juice clarification, and membranes as immobilization support. *Journal of Food Science*. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.16233>.
8. Haile, S., & Ayele, A. (2022). Pectinase from Microorganisms and Its Industrial Applications. *The Scientific World Journal*, 2022, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2022/1881305>.
9. Xia, Y., Sun, G., Xiao, J., He, X., Jiang, H., Zhang, Z., Zhang, Q., Li, K., Zhang, S., Shi, X., Wang, Z., Liu, L., Zhao, Y., Yang, Y., Duan, K., Ye, W., Wang, Y., Dong, S., Wang, Y., Ma, Z., Wang, Y. (2024). AlphaFold-guided redesign of a plant pectin methylsterase inhibitor for broad-spectrum disease resistance. *Molecular Plant*. <https://doi.org/10.1016/j.molp.2024.07.008>.
10. Patidar, M. K., Nighojkar, S., Kumar, A., & Nighojkar, A. (2016). Papaya peel valorization for production of acidic pectin methylsterase by *Aspergillus tubingensis* and its application for fruit juice clarification. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 6, 58–67. doi:10.1016/j.bcab.2016.02.008.
11. Gayen, S., & Ghosh, U. (2011). Pectinmethylsterase Production from mixed agro-wastes by *Penicillium notatum* NCIM. 923 in Solid-State fermentation. *Journal of Bioremediation & Biodegradation*, 02(02). <https://doi.org/10.4172/2155-6199.1000119>.
12. Akintobi, A., Oluitola, P., Olawale, A., Odu, N., & Okonko, I. (2012). Production of Pectinase Enzymes system in culture filtrates of *Penicillium variabile* Sopp. *Nature and Science*, 10(7), 99–109.
13. Mandhania, S., Jain, V., & Malhotra, S. (2010). Culture Optimization for Enhanced Production of Microbial Pectin Methylsterase under Submerged Conditions. *Asian Journal of Biochemistry*, 5 (1), 12–22.

14. Mujtaba, M., Fraceto, L., Fazeli, M., Mukherjee, S., Savassa, S. M., Araujo de Medeiros, G., do Espirittto Santo Pereira, A., Donnini Mancana, S., Lipponen, J., Vilaplana, F. (2023). Lignocellulosic biomass from agricultural waste to the circular economy: A review with focus on biofuels, biocomposites and bioplastics. *Journal of Cleaner Production*, 136815. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136815>.
15. do Rosário Freixo, M., Karmali, A., & Arteiro, J. M. (2008). Production of polygalacturonase from *Coriolus versicolor* grown on tomato pomace and its chromatographic behaviour on immobilized metal chelates. *Journal of Industrial Microbiology & Biotechnology*, 35 (6), 475–484. <https://doi.org/10.1007/s10295-008-0305-1>.
16. Sista Kameshwar, A. K., & Qin, W. (2017). Comparative study of genome-wide plant biomass-degrading CAZymes in white rot, brown rot and soft rot fungi. *Mycology*, 9 (2), 93–105. <https://doi.org/10.1080/21501203.2017.1419296>.
17. Levin, L., & Forchiassin, F. (1998). Culture conditions for the production of pectinolytic enzymes by the white-rot fungus *Trametes trogii* on a laboratory scale. *Acta Biotechnologica*, 18 (2), 157–166. <https://doi.org/10.1002/abio.370180213>.
18. Bisko, N., Lomberg, M., Mykchaylova, O., & Mytropolska, N. (2020). IBK Mushroom Culture Collection. Version 1.2. The IBK Mu-shroom Culture Collection of the M.G. Kholodny Institute of Botany. M.G. Kholodny Institute of Botany. <https://doi.org/10.15468/dzdsqu>.
19. Mykchaylova, O., & Poyedinok, N. (2021). Antimicrobial Activity of *Fomitopsis officinalis* (Vill.) Bondartsev & Singer in Pure Culture. *Innovative Biosystems and Bioengineering*, 5 (4), 220–227. <https://doi.org/10.20535/ibb.2021.5.4.246668>.
20. Lomberg, M., Krupodorova, T., Krasinko, V., & Mykchaylova, O. (2023). The antibacterial activity of culture filtrates and mycelia of selected strains of macromycetes from the genus *Hericium*. *Botanica Serbica*, 47(2), 241–249. <https://doi.org/10.2298/botserb2302241l>.
21. Wood, I. P., Elliston, A., Ryden, P., Bancroft, I., Roberts, I. N., & Waldron, K. W. (2012). Rapid quantification of reducing sugars in biomass hydrolysates: Improving the speed and precision of the dinitrosalicylic acid assay. *Biomass and Bioenergy*, 44, 117–121. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2012.05.003>.
22. Pednekar, S., & Mangaonkar, K. (2022). Spectrophotometric analysis of enzymatic profile of *Carica papaya* pectinesterase. *International Research Journal of Plant Science*, 13 (3), 1–6.
23. Klechak, I., Mytropolska, N., Antonenko, L., & Nyshporska, O. (2009). Osoblyvosti rostu *Coriolus versicolor* u hlybynnii kulturi [Growth characteristics of *Coriolus versicolor* in submerged culture]. *Haykovi bicri HTYV "KPII"*, 1, 128–133 [in Ukrainian].
24. Dagbagli, S., & Goksungur, Y. (2008). Optimization of β -galactosidase production using *Kluyveromyces lactis* NRRL Y-8279 by response surface methodology. *Electronic Journal of Biotechnology*, 11(4), <https://doi.org/10.2225/vol11-issue4-fulltext-12>.
25. Elisashvili, V., Metreveli, E., Khardziani, T., Sokhadze, K., Kobakhidze, A., & Kachlishvili, E. (2023). Review of Recent Advances in the Physiology of the Regulation of Cellulase and Xylanase Production by Basidiomycetes. *Energies*, 16(11), 4382. <https://doi.org/10.3390/en16114382>.
26. Desisa, B., Muleta, D., Jida, M., Dejene, T., Goshu, A., Negi, T., & Martin, P. (2024). Comprehending and Domesticating of Wild Growing Turkey Tail Mushroom (*Trametes versicolor*) from Ethiopia on augmented agro-industrial byproducts. *Mycological Progress*, 23 (62). <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3415923/v1>.
27. Liu, Q., Talbot, M., & Llewellyn, D. J. (2013). Pectin Methylesterase and Pectin Remodelling Differ in the Fibre Walls of Two *Gossypium* Species with Very Different Fibre Properties. *PLoS ONE*, 8(6), 65131. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0065131>.

УДК 663.52

**ОСОБЛИВОСТІ МЕХАНІЗМУ УТВОРЕННЯ КРОТОНОВОГО АЛЬДЕГІДУ
В СПИРТОВОМУ ЗБРОДЖУВАННІ КРОХМАЛЕВМІСНОЇ СИРОВИНИ****Коваль О. О.**, к.т.н., ст. наук. співробітник

відділу технологій продуктів бродіння

<https://orcid.org/0000-0003-1035-5895>**Олійничук С. Т.**, д.т.н., с.н.с.,

завідувач відділу технологій продуктів бродіння

<https://orcid.org/0000-0002-2885-6754>

Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-08>

Предмет. Визначення особливостей механізму утворення кротонового альдегіду як шкідливої мікродомішки в процесі виробництва спирту етилового харчового призначення. **Мета.** Дослідити та узагальнити теоретичні положення біохімічного процесу утворення кротонового альдегіду та визначити шляхи його мінімізації в спиртових дистилатах за окремими стадіями процесу збродження крохмалевмісної сировини. **Методи.** У дослідженні використано наступні методи: системного аналізу, а також синтезу та узагальнення інформації. **Результати.** За результатами досліджень механізму утворення кротонового альдегіду сформульовано основні залежності його утворення від технологічних режимів перероблення крохмалевмісної сировини, умов культивування дріжджів та перебігу спиртового бродіння. Оскільки основним джерелом утворення кротонового альдегіду є ацетальдегід – проміжний продукт процесу отримання спирту етилового, то високий вміст ацетальдегіду в зрілій бражці може бути причиною утворення кротонового альдегіду в процесі брагоректифікації. Визначено, що причинами появи кротонового альдегіду в процесі отримання спирту етилового в бродильному відділенні можуть бути як інтенсифікація життєдіяльності контамінуючої мікрофлори, так і порушення процесу виробництва, а також надмірне збільшення тривалості перетримки зрілої бражки. Проаналізовано літературні джерела та визначено можливі ефективні методи мінімізації вмісту основного джерела утворення кротонового альдегіду. Визначено можливі шляхи утворення кротонового альдегіду в процесі брагоректифікації та досліджено методи вилучення його як супутньої домішки. **Сфера застосування результатів.** Економічний ефект мінімізації можливості утворення кротонового альдегіду для виробництва спирту етилового харчового призначення полягатиме в підвищенні якості кінцевого продукту.

Ключові слова: кротоновий альдегід, крохмалевмісна сировина, ацетальдегід, контамінуюча мікрофлора, бродіння, спирт етиловий

**PECULIARITIES OF CROTON ALDEHYDE FORMATION MECHANISM IN THE
ETHANOL FERMENTATION OF STARCH-CONTAINING RAW MATERIALS****Olga Koval**, PhD, Engineering, Senior Research Officer

of Fermentation Products Technologies Department

<https://orcid.org/0000-0003-1035-5895>**Serhii Oliynichuk**, D-r of Sc., Engineering, Senior Researcher,

Head of Fermentation Products Technologies Department

<https://orcid.org/0000-0002-2885-6754>

Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

Subject. Determination of the features of croton aldehyde formation mechanism as a harmful micro-impurity in the production of food grade ethanol. **Purpose.** To investigate and generalize the theoretical principles of croton aldehyde formation biochemical process and to determine the ways of its minimization in alcohol distillates at separate stages of starch-containing raw materials` fermentation process. **Methods.** System analysis method, as well as synthesis and generalization of information were used in the research. **Results.** The main dependences of croton aldehyde formation on the technological modes of starch-containing raw materials processing, the yeast cultivation conditions and the ethanol fermentation progress were formulate based on the results of research of the croton aldehyde formation mechanism. Since the main source of croton aldehyde formation is acetaldehyde - an intermediate

product of the ethanol production process - the high content of acetaldehyde in mature brew can be the reason for the formation of croton aldehyde during distillation-rectification process. It was determined that the reasons for croton aldehyde appearance in the ethanol production process in the fermentation department can be both the intensification of the vital activity of the contaminating microflora, and the disruption of the production process, as well as an excessive increase of prolonged exposure of mature wort. Literary sources were analyzed and possible effective methods of minimizing the content of croton aldehyde formation main source were determined. Possible ways of croton aldehyde formation in the distillation-rectification process were determined and methods of its extraction as a concomitant impurity were investigated. **Scope of results.** The economic effect of minimizing the possibility of croton aldehyde formation for the food grade ethyl alcohol production will be to increase the final product quality.

Key words: croton aldehyde, starch-containing raw materials, acetaldehyde, contaminating microflora, fermentation, ethanol

Постановка проблеми. Спирт етиловий ректифікований є основою для виробництва алкогольних напоїв, ринок яких, в свою чергу, дозволяє ефективно наповнювати бюджет України. Високий рівень попиту на алкогольні напої та досить висока рентабельність виробництва сприяють високому рівню конкуренції, що потребує як використання сировини високої якості, так і впровадження нових ефективних технологій.

Вимоги до фізико-хімічних та органолептичних показників кінцевого продукту у виробництві спирту етилового харчового призначення є високими. Якість товарного спирту залежить від виду та якості сировини, а також від ефективності процесу переробки на всіх технологічних стадіях.

Особливістю отримання спирту етилового шляхом зброджування вуглеводмісної сировини є отримання дистиляту, в якому, крім етилового спирту, міститься велика кількість інших супутніх продуктів, основна частина яких утворюється саме на стадії ферментації. Крім того, домішки утворюються також в процесі теплової обробки сировини, при перегонці та ректифікації.

Кожен із супутніх продуктів має свій вплив на органолептичні показники етилового спирту. Вміст окремих з них, зокрема альдегідів, сивушних олій, естерів, метилового спирту, суворо регламентується.

Кротоновий альдегід є токсичною мікродомішкою, не характерною для етилового спирту харчового призначення та горілчаних виробів на його основі. Джерелом утворення даної сполуки є процес кротонової конденсації оцтового альдегіду, надмірне утворення якого може бути наслідком порушень технологічних режимів, для прикладу недостатньої ефективності застосування антисептуючих заходів за низькотемпературного розрідження крохмалевмісної сировини.

Метою даної науково-дослідної роботи є дослідження та узагальнення теоретичних положень біохімічного процесу утворення кротонового альдегіду та визначення шляхів його мінімізації в спиртових дистилятах за окремими стадіями процесу зброджування крохмалевмісної сировини. Економічний ефект для виробництва спирту етилового харчового призначення полягатиме в підвищенні якості кінцевого продукту.

Аналіз досліджень та публікацій. Одержання спирту етилового з харчової сировини є біотехнологічним виробництвом, що використовує мікроорганізми для утворення необхідного продукту. В процесі отримання спирту етилового з крохмалевмісної сировини на всіх стадіях технологічного процесу відбуваються механічні та хімічні процеси, перебіг яких впливає на показники якості кінцевого продукту.

Основна частина домішок, що містяться в дистилятах спирту етилового, утворюється в процесі бродіння і є продуктами життєдіяльності дріжджів – продуцентів спирту та контамінуючої мікрофлори. Визначено, що вміст домішок в зрілій бражці залежить також і від раси дріжджів, яка використовується в зброджуванні сировини [1].

Крім того, домішки утворюються в процесі теплової обробки сировини та при перегонці і ректифікації. Важливе значення також має якість самої сировини.

За ферментації суслу з дефектної сировини можливим є часткове пригнічення ферментативної активності дріжджів, при цьому в суслі накопичуються проміжні продукти спиртового бродіння, які у подальшому процесі перетворюються на сивушні олії або інші леткі домішки [2].

В процесі зброджування сировини утворюється до 12-ти альдегідів, які містять від двох до дванадцяти атомів вуглецю. Альдегіди, що мають від 1 до 6 атомів вуглецю, відрізняються неприємним запахом, з більшою кількістю атомів вуглецю – мають приємний квітковий чи фруктовий аромат. Негативний вплив альдегіди, особливо ненасичені, як кротоновий альдегід, мають і на смак: надають кінцевому продукту різкого пекучого присмаку та гіркоти [3].

Кротоновий альдегід C_4H_6O – безбарвна рідина з характерним різким запахом, дуже горюча та здатна виділяти токсичні пари за кімнатної температури. Даний альдегід природним чином міститься у викидах деякої рослинності та вулканів, а також, в невеликих кількостях, в багатьох харчових продуктах [4].

Кротоновий альдегід в основному використовується у виробництві сорбінової кислоти, як добавка до палива, спиртовий денатурат, стабілізатор для тетраетилсвинцю, у приготуванні прискорювачів каучуку та в дубленні шкіри [5].

Утворюється шляхом кротонової конденсації, каталізатором реакції є основи. Реакція починається з утворення карбаніона, який спряжений з енолят-аніоном і має сильні нуклеофільні властивості. Незважаючи на більшу електронегативність атома Оксигену, атом Карбону має більшу нуклеофільність, що пояснюється енергетичною вигідністю утворення нового C–C – зв'язку (~ на 90 кДж/моль), ніж нового зв'язку C–O. Тому карбаніон "атакує" електрофільний центр іншої молекули, що містить карбонільну групу, з утворенням алкоголят-аніону, який швидко перетворюється на альдоль під дією води. Альдолі при нагріванні легко відщеплюють воду, перетворюючись на ненасичені карбонільні сполуки [6].

Вважається, що кротоновий альдегід не є безпосереднім продуктом бродіння, а утворюється при ректифікації [7]. Основою для утворення кротонового альдегіду є ацетальдегід, який складає близько 90% та більше від загальної кількості альдегідів, що містяться в спиртовій бражці, оскільки є продуктом реакції, що передують утворенню етилового спирту. За нормальних умов та дотримання перебігу технологічних процесів вміст ацетальдегіду в зрілій бражці є відносно невисоким.

Враховуючи вищевказане, слід звернутись до біохімічної схеми утворення етанолу з глюкози (рис. 1), зокрема в частині утворення ацетальдегіду і його перетворення в етанол. За даним літературних джерел [6, 8] початок спиртового бродіння здійснюється гліколітичним шляхом (Ембдена – Мейергофа – Парнаса) з утворенням ацетальдегіду та гліцеролу, кількість яких досягає максимуму на стадії розмноження дріжджів та головного бродіння. При цьому оцтовий альдегід не відразу відновлюється $НАД \cdot H_2$ -алкогольдегідрогеназою до етанолу, а лише за досягнення певного вмісту в середовищі.

За певних умов в середовищі, де наявні молекули ацетальдегіду, може проходити процес альдольної конденсації з наступним утворенням побічних продуктів, зокрема й кротонового альдегіду (рис. 2). При цьому вихід кротональдегіду істотно залежить від кислотно-основних властивостей поверхні каталізаторів [10].

На кількість утворення кротональдегіду впливає не лише присутність каталізаторів, а й температура та тривалість перебігу реакції. У разі продовження тривалості реакції кількість кротонового альдегіду в середовищі може знижуватись через, ймовірно, подальшу перехресну конденсацію вже готового кротонового альдегіду із залишком ацетальдегіду, що призводить до утворення побічних продуктів, таких як паральдегід, метальдегід тощо [10].

Однак є можливим ще один шлях утворення кротонового альдегіду – в якості проміжного продукту реакції Гербе, яку використовують для отримання п-бутанолу

(рис. 3). При цьому два моля етанолу дегідруються, утворюючи два моля H_2 і два моля ацетальдегіду, які далі реагують з утворенням 3-гідроксибутаналу на етапі альдольної конденсації. Цей проміжний продукт, у свою чергу, далі відщеплює H_2O з утворенням кротонового альдегіду та, після регідрогенації, 1-бутанолу [11].

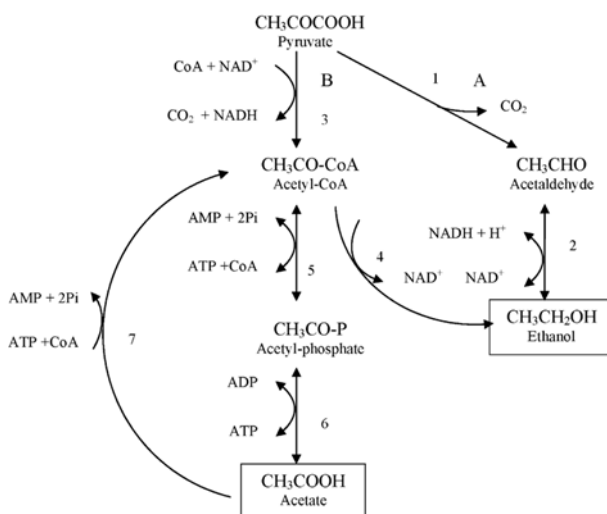


Рис. 1. Біохімічна схема утворення етанолу [9]

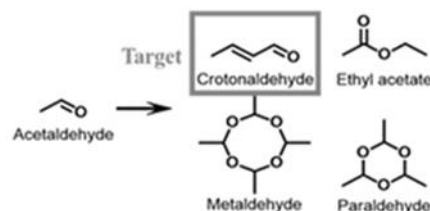


Рис. 2. Продукти реакції, що утворюються в процесі проходження альдольної конденсації ацетальдегіду [10]

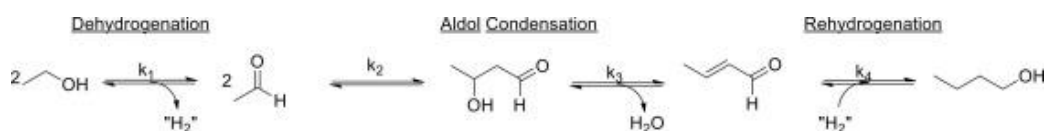


Рис. 3. Схема реакцій, що проходять під час реакції Гербе [11].

Особливостями перебігу даного процесу для промислового отримання бутанолу є температура (зазвичай 300°C чи вище) та наявність специфічних каталізаторів, однак в літературі описані умови перетворення етанолу і за нижчих температур та магнію або нікелю в якості каталізатору [12, 13].

Відповідно, можна припустити ймовірність утворення кротонового альдегіду даним шляхом в невеликих кількостях за температур перегонки.

Крім того, відомо, що за певних умов етиловий спирт може зазнавати окислення з утворенням ацетальдегіду.

Наявність кротонового альдегіду в дистилатах також може бути наслідком діяльності контамінуючої мікрофлори. Зокрема, відомо кілька метаболічних шляхів маслянокислого бродіння, що індукується облігатно анаеробними бактеріями роду *Clostridium* (*C. pasteurianum*, *C. buryricum*, *C. acetobutylicum*, *C. pectinovorum*), які відрізняються умовами перебігу та формуванням вторинних продуктів ферментації [14, 15]. При цьому можливий перебіг процесу з утворенням кротонового альдегіду в бражних дистилатах.

Дослідженнями утворення вторинних продуктів бродіння в умовах зброджування м'ясного сула встановлено, що основна кількість ацетальдегіду утворюється на стадіях культивування дріжджів та головного бродіння і має пряму залежність від концентрації сула, що зброджується. Спостерігається зростання вмісту ацетальдегіду в 1,7–3,0 рази в порівнянні з контролем [16].

В процесі бродіння вміст альдегідів, основну частку яких становить ацетальдегід, зменшується за рахунок їх перетворення в етиловий спирт. Цей процес відбувається до певного рівня вмісту оцтового альдегіду, а потім залишається практично без змін. Можливо, це і є та кількість оцтового альдегіду, який за певних умов може утворити кротоновий альдегід.

За таких умов варто звернути увагу на використання у виробництві методів, які здатні знизити рівень ацетальдегіду в бражці до мінімально можливого, мінімізуючи таким чином ризики утворення кротонового альдегіду.

Так, дослідженнями С. Т. Олійнічука (табл. 1) встановлено, що при зброджуванні суслу з жита вміст вторинних продуктів бродіння за обробки антисептиком, а також термообробки, знижується в порівнянні з необробленою сировиною.

Таблиця 1

Накопичення вторинних продуктів бродіння після додаткової обробки сировини

Показники	Контроль	Обробка антисептиком	Термообробка
Масова концентрація ацетальдегіду, мг/дм ³	118	29	52
Масова концентрація сивушного масла як сума концентрацій вищих спиртів, ідентифікованих у зразку, мг/дм ³	5900	5488	5453
Об'ємна частка метанолу, %	0,009	0,0089	0,0083
Масова частка естерів, мг/дм ³ , в тому числі			
Метилацетат	39	< 2	< 2
Етилацетат	218	144	152
Етилбутират	31	< 2	< 2
Ізоамілацетат	12	< 2	< 2

Зокрема, вміст ацетальдегіду знижується у випадку додаткової обробки антисептиком на 75,4% у порівнянні з контролем, а після термообробки – на 55,9% відповідно.

Дослідження використання різних типів антисептиків в процесі ферментації крохмалевмісної сировини показали, що кількісний вміст летких компонентів бражки знижується з використанням будь-якого антисептика, однак засоби на основі полідексаметилenguанідину гідрохлориду мають більш позитивний вплив на накопичення альдегідів в бражних дистилятах [17].

Кротоновий альдегід є нехарактерною мікродомішкою в спиртовому виробництві, часто його наявність в продукті корелює з надмірною тривалістю перебування зрілої бражки в бродильному чані (за даними, наданими з виробничих потужностей). В такому випадку мінімізація вмісту даної домішки відбувається на етапі повернення до нормативної тривалості.

Дослідниками Onuki S., Koziel J. та ін. встановлено, що застосування вологого способу помелу, коли крохмаль та зброджування цукри відділяються від інших компонентів зернівки, дозволяє знизити кількість домішок, ніж за використання сухого помелу, за якого циклічні та гетероциклічні компоненти утворюються з лігніну, що міститься в оболонках [18].

У дослідженнях Паляниці Л. Я., Березовської Н. І. та Косів Р. Б. визначено, що на кінцевий вміст летких домішок в бражних дистилятах, отриманих з крохмалевмісної сировини впливає якісний склад ферментних препаратів, які застосовуються у виробництві, зокрема ферментів протеолітичної дії [19].

Позитивно впливає також на накопичення більшості вторинних продуктів метаболізму застосування в процесі ферментації сировини, зокрема цукровмісної, рециркуляції біомаси дріжджів [20].

У випадку, якщо порушення процесу зброджування все ж призводять до утворення кротонового альдегіду в процесі брагоректифікації, є можливість його ефективного вилучення.

При застосуванні традиційних способів очистки спирту від домішок на типових БРУ деякі з домішкових компонентів зазвичай в незначних кількостях залишаються

присутніми в товарному спирті. Для більш повного їх видалення в схеми БРУ крім основних ректифікаційних колон включають додаткові – сивушну, розгінну та колону кінцевої очистки [21].

Вилучення кротонового альдегіду в процесі перегонки ускладнюється тим, що в діапазоні більшої концентрації етанолу, цю домішку важко видалити. Ця складність впливає з рівноважного співвідношення мікродомішки, яке наближається до одиниці зі збільшенням концентрації етанолу [22].

Альдегіди характеризуються сильним запахом. При взаємодії альдегідів і спиртів утворюються ацеталі та напівацеталі, які, крім ацеталів оцтового, пропіонового та масляного альдегідів, погіршують якість спирту. В ректифікованому спирті допускається присутність ацетальдегіду, який в нормативних кількостях не впливає на його органолептичні показники. В умовах глибокої гідроселекції в режимі циклічної ректифікації кротоновий альдегід повністю видаляється із кубової рідини [23, 24].

Акролеїн і кротоновий альдегід мають великий вплив на показник окислення спирту та важко виводяться шляхом звичайної ректифікації. Альдегіди, що є у бражці, в основному утворюються в процесі бродіння, але певна їх кількість заноситься з сировиною (особливо неякісною). Деякі альдегіди утворюються в процесі ректифікації під впливом температури [23].

Кротоновий альдегід ще більш леткий порівняно з акролеїном при концентрації спирту до 70 об.%, а при більшій концентрації його леткість приблизно дорівнює етиловому спиртові. Таким чином, є можливість вилучення його як домішки в епюраційній колоні, особливо при епюрації сумішей міцністю до 30 об.%.

Одним з методів очистки продукту від таких нетипових домішок як акролеїн та кротоновий альдегід визначено затримку рідини на тарілках до 20 с в процесі ректифікації. При цьому ступінь вилучення верхніх проміжних домішок і метанолу збільшувалась на 60%, кратність концентрування головних домішок зростала на 33%, вищих спиртів – на 69%, метанолу – на 52% [24].

Визначено, що подання води на верхню тарілку епюраційної колони не має великого впливу на вилучення акролеїну та кротоновальдегіду при виробництві спирту на брагоректифікаційних установках прямої дії, де бражка з низьким вмістом спирту (до 8 об.%) подається на тарілку живлення епюраційної колони. Такий метод більше підходить для установок непрямої дії, в яких на тарілку живлення епюраційної колони подається бражний дистилят міцністю 30–60 об.%, розчинення якого лютерною водою і промивною рідиною з маслопромивача підвищує якість спирту [25].

Відомий спосіб інтенсифікації очищення водно-спиртових розчинів від супутніх домішок за рахунок створення умов для їх концентрування та виділення за оптимальної концентрації етилового спирту, що досягається тим, що в процесі перегонки бражки та очищення одержаного водно-спиртового розчину від супутніх домішок епюрацією з гідроселекцією, їх концентрування і виведення у вигляді побічного продукту та ректифікацію очищеного водно-спиртового розчину, воду для гідроселекції подають, як мінімум, у дві зони, а супутні домішки виводять з процесу в концентрованому вигляді як побічний продукт вище кожної зони подачі води на гідроселекцію.

Таким чином регулюють концентрацію етилового спирту на масообмінних тарілках нижче точки вводу води та створюють умови для максимального концентрування конкретних домішок етилового спирту, коефіцієнт ректифікації яких залежить від концентрації водно-спиртових розчинів. Виведення супутніх домішок з процесу в концентрованому вигляді як побічного продукту вище кожної зони подачі води на гідроселекцію дозволяє виводити супутні домішки етилового спирту з зони їх максимального накопичення, тобто знизити до мінімуму відбори та підвищити ступінь очищення водно-спиртового розчину [26].

Також дослідниками оптимізовано технологію утилізації спиртовмісних відходів брагоректифікаційної установки, яка працює в енергозберігаючому режимі під тиском нижчим за атмосферний, що дозволяє істотно зменшити кількість домішок при стабільному виробництві ректифікованого спирту підвищеної якості. Проміжні домішки при цьому більш ефективно вилучають та концентрують при гідроселекції, що забезпечує концентрацію спирту в кубі розгінної колони в межах 3,7 ... 4,9%об. [27, 28].

Визначено, що видалення головних домішок в повній мірі (разом зі скороченням витрат гріючої пари та збереженням високої якості товарного спирту) можна досягти також з використанням механотронних підсистем на основі пневмоелектроавтоматики в брагоректифікаційних установках [21].

Висновки. За результатами досліджень механізму утворення кротонового альдегіду сформульовано основні залежності його утворення від технологічних режимів перероблення крохмалевмісної сировини, умов культивування дріжджів та перебігу спиртового бродіння.

Основним джерелом утворення кротонового альдегіду є ацетальдегід – проміжний продукт процесу отримання спирту етилового. Відповідно, високий вміст ацетальдегіду в зрілій бражці може бути причиною утворення кротонового альдегіду в процесі брагоректифікації.

Визначено, що причинами появи кротонового альдегіду в процесі отримання спирту етилового в бродильному відділенні можуть бути як інтенсифікація життєдіяльності контамінуючої мікрофлори, так і порушення процесу виробництва, а також надмірне збільшення тривалості перетримки зрілої бражки. Проаналізовано літературні джерела та визначено можливі ефективні методи мінімізації вмісту основного джерела утворення кротонового альдегіду.

Визначено можливі шляхи утворення кротонового альдегіду в процесі брагоректифікації та досліджено методи вилучення його як супутньої домішки.

Бібліографія

1. Ковальчук, С., Мудрак, Т., Наконечна, А. Дослідження якості спирту, отриманого шляхом зброджування висококонцентрованого зернового суслу різними расами дріжджів. Ресторанний і готельний консалтинг. Інновації, 2021. №4 (1). С. 158–168. <https://doi.org/10.31866/2616-7468.4.1.2021.234836>.
2. Петрова І. А., Петров С. О. Використання експертних досліджень спирту у виявленні виробника небезпечної продукції. Тези науково-практичної конференції «Сучасні напрями розвитку судової експертизи та криміналістики», 20 грудня 2016 року, Харків, Україна. ХНУВС, Харків, 2016. С. 195 – 198. <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/46268>.
3. Мельник Л.М. Наукове обґрунтування і розробка технології адсорбційного очищення та зневоднення спиртових розчинів природними сорбентами: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.07. захищена 11.10.2006. Нац. унт харч. технологій, К., 2006. 311 с.
4. Acrolein, Crotonaldehyde, and Arecoline IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. 2021. Volume 128. <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Acrolein-Crotonaldehyde-And-Arecoline-2021>.
5. Suryanarayanan, A. Crotonaldehyde. Encyclopedia of Toxicology (Third Edition). Editor(s): Philip Wexler. Academic Press, 2014. P. 1072-1075, ISBN 9780123864550, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.01212-4>.
6. Василькевич, О. І. Кофанова О. В., Кофанов О. Є. Хімія навколишнього середовища. Хімія органічних сполук. Частина 2. Похідні аліфатичних вуглеводнів: навч. пос. для здобувачів другого магістерського рівня вищої освіти спеціальності 101 «Екологія» освітньої програми «Інженерна екологія та ресурсозбереження» / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 153 с. <https://ela.kpi.ua/items/908b2edb-e4b0-49a6-9c60-0dc45116d099>.
7. Ловягін О. М., Муратов Д. В., Шевченко Л. О., Ковальчук В. П. Вплив кротонового альдегіду на якість спирту та лікєро-горілочної продукції. Наук. пр. Нац. ун-ту харч. технологій, 2008. № 24. С. 36–38.

8. Pronk JT, Yde Steensma H, Van Dijken JP. Pyruvate metabolism in *Saccharomyces cerevisiae*. Yeast (Chichester, England), 1996. Vol. 12 (16). P. 1607–1633. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0061\(199612\)12:16<1607::aid-yea70>3.0.co;2-4](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0061(199612)12:16<1607::aid-yea70>3.0.co;2-4).
9. Boumba, V., Ziavrou, K., Vujuk, Th. Biochemical pathways generating post-mortem volatile compounds co-detected during forensic ethanol analyses. Forensic science international, 2008. № 174. P. 133–51. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2007.03.018>.
10. Shichang Yan, Wenlong Xu, Haiming He, Jiecan Shen, Yu Shi and others. Efficient Synthesis of C4 Compound with Low Carbon Emission from Acetaldehyde: Aldol Condensation Catalyzed by Regulable Acidic–Alkaline Al/Mg Sites of CuMgAlO. Industrial & Engineering Chemistry Research, 2022. № 61 (27). P. 9544–9551 <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.2c00456>.
11. Pasel Joa., Häusler Jo., Schmitt D., Valencia H., Mayer Joa., Peters, R. Aldol condensation of acetaldehyde for butanol synthesis: A temporal analysis of products study. Applied Catalysis B: Environmental, 2023. Vol. 324. № 122286, <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2022.122286>.
12. Aitchison, H., Wingad, R. L., Wass, D. F. Homogeneous Ethanol to Butanol Catalysis – Guerbet Renewed. ACS Catalysis, 2016. № 6 (10). P. 7125–7132. <https://doi.org/10.1021/acscatal.6b01883>.
13. Mamontova E., Favier I., Pla D., Gómez M. Organometallic interactions between metal nanoparticles and carbon-based molecules: A surface reactivity rationale. Chapter Two. Advances in Organometallic Chemistry. Editor(s): Pedro J. Pérez. Academic Press, 2022. Vol. 77. P. 43–103, <https://doi.org/10.1016/bs.adomc.2022.01.004>.
14. Маринченко В. О., Домарецький В. А., Шиян П. Л. Технологія спирту: підручник. Вінниця: «Поділля-2000», 2003. 496 с.
15. Бабицький А. І., Дрозд П. Ю. Об'єкти біотехнологічних виробництв. Короткий курс лекцій для студентів ОС «Бакалавр» денної і заочної форми навчання аграрних вузів III–IV рівня акредитації спеціальності 162 «Біотехнологія та біоінженерія». Методичні рекомендації, 2017. Київ. Видавничий центр НУБіПУ. 121 с.
16. Кириленко, Р. Г., Шиян П. Л., Мудрак Т. О. Накопичення летких домішок в дозрілих бражках в залежності від концентрації сухих речовин та температури зброджування сусла. Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: тез. доп. 71-ї. наук. конф. молодих вчених, аспірантів і студентів, 18–19 квітня 2005 р. К : НУХТ, 2005. Ч. II. С. 14.
17. Шиян П., Маринченко В., Фіщенко А., Мудрак Т. Вплив антисептиків на накопичення летких домішок у спиртових бражках. Харч. і переробна пром-сть. К.: Нива, 2004. №. 5. С. 19–20.
18. Onuki, S., Koziel, J., Jenks, W., Cai, L., Grewell, D., Van Leeuwen, H. Taking ethanol quality beyond fuel grade: A review. Journal of the Institute of Brewing, 2016. № 122. P. 588–598. <https://doi.org/10.1002/jib.364>.
19. Паляниця Л. Я., Березовська Н. І., Косів Р. Б. Вплив умов біоконверсії зернової сировини на склад летких речовин дистилятів. Chemistry, Technology and Application of Substances, 2022. Vol. 5, № 1. С. 117–126. <https://doi.org/10.23939/ctas2022.01.117>.
20. Левандовський Л. В., Бондар М. В. Особливості метаболізму дріжджів при їх рециркуляції в умовах спиртової ферментації мелясного сусла. Мікробіологічний журнал, 2016. Т. 78, № 1. С. 44–53. http://nbuv.gov.ua/UJRN/MicroBiol_2016_78_1_6.
21. Іванов С. В., Шиян П. Л., Булій Ю. В. Використання механотронних підсистем в процесі вилучення та концентрування органічних домішок спирту. Харчова промисловість. К.: НУХТ, 2014. № 15. С. 36–41. <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/30af9f0d-fa0d-43de-8ed8-427cb6512ba3/content>.
22. Atsushi Ikari, Yasuo Hatate, Ryoko Deguchi Continuous distillation of aqueous solution of ethanol containing a minute amount of crotonaldehyde. Journal of Chemical Engineering of Japan, 1978. V. 11, I. 4. P. 265–270, <https://doi.org/10.1252/jcej.11.265>.
23. Булій Ю. В., Зінченко О. І. Енергоощадна технологія перегонки бражки і розгонки спиртовмісних фракцій. Advances of Science: Proceedings of articles the international scientific conference. Czech Republic, Karlovy Vary – Ukraine, Kyiv, 17 May 2019. P. 36–46. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/29656>.
24. Булій Ю. В., Ободович О. М., Сидоренко В. В., Шейко Т. В. Перспективні напрямки енергозбереження в процесах масообміну між рідиною і паром. Продовольчі ресурси, 2020. Т. 8, № 15. С. 32–40. http://nbuv.gov.ua/UJRN/pr_2020_8_15_6.

25. Милик М. Вплив подачі води в епіюраційну колону БПУ прямої дії на виділення головних домішок. Вісник Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя, 2000. № 1. С. 122–129. https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/38601/2/TSTUSJ_2000v5n1_Mylyk_M-The_influence_of_water_feeding_122-129.pdf.

26. Патент на корисну модель №25697, Україна, С12F3/00. Спосіб виробництва спирту етилового ректифікованого № 20041109428, заявл. 17.11.2004; опубл. 27.08.2007. 2 с.

27. Шиян П. Л., Боярчук Я. А. Дослідження руху органічних домішок спирту по розгінній колоні, яка працює під тиском нижчим за атмосферний. Ukrainian food journal, 2012. № 3. С. 12–15. http://nbuv.gov.ua/UJRN/UFJ_2012_3_4.

28. Боярчук Я. А. Інноваційна технологія виробництва спирту з крохмалевмісної сировини : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.18.05 / Я. А. Боярчук; Нац. ун-т харч. технологій. Київ, 2016. 20 с. укр.

References

1. Kovalchuk, S., Mudrak, T., Nakonechna, A. (2021). Doslidzhennia yakosti spyrtu, otrymanoho shliakhom zbrodzhuvannia vysokokontsentrovanooho zernovoho susla riznymy rasamy drizhdzhiv. [Research on the quality of alcohol obtained by fermentation of highly concentrated grain wort with different yeast races.] Restorannyi i hotelnyi konsal'tynh. Innovatsii, [Restaurant and hotel consulting. Innovations.] № 4 (1). P. 158–168. [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.31866/2616-7468.4.1.2021.234836>.

2. Petrova I. A., Petrov S. O. (2016) Vykorystannia ekspertnykh doslidzen spyrtu u vyiavlenni vyrobnyka nebezpechnoi produktsii. [The use of expert studies of alcohol in identifying the manufacturer of dangerous products]. Tezy naukovopraktychnoi konferentsii «Suchasni napriamy rozvytku sudovoi ekspertyzy ta kryminalistyky» [Abstracts of the scientific and practical conference "Modern directions of the development of forensic examination and criminology"], 20 hrudnia 2016 roku, Kharkiv, Ukraina. KhNUVS, Kharkiv, 2016. P. 195–198. [In Ukrainian]. <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/46268>.

3. Melnyk L.M. (2006). Naukove obgruntuvannia i rozrobka tekhnolohii adsorbtsiinoho ochyshchennia ta znevodnennia spyrtovykh rozchyniv pryrodnyimi sorbentamy: Dys. ... d-ra tekhn. nauk: 05.18.07 [Scientific substantiation and development of the technology of adsorption purification and dehydration of alcohol solutions with natural sorbents: Diss. ... Dr. of Tech. science]. zakhyschena 11.10.2006. Nats. unt kharch. tekhnolohii, K., 2006. 311 p. [In Ukrainian].

4. Acrolein, Crotonaldehyde, and Arecoline IARC Monographs on the Identification of Carcinogenic Hazards to Humans. (2021). Volume 128. <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Acrolein-Crotonaldehyde-And-Arecoline-2021>.

5. Suryanarayanan, A. (2014). Crotonaldehyde. Encyclopedia of Toxicology (Third Edition). Editor(s): Philip Wexler. Academic Press. P. 1072–1075. ISBN 9780123864550, <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-386454-3.01212-4>.

6. Vasylykevych, O. I. Kofanova O. V., Kofanov O. Ye. (2020). Khimiia navkolyshnoho seredovyshcha. Khimiia orhanichnykh spoluk. Chastyna 2. Pokhidni alifatychnykh vuhlevodniv: navch. pos. dlia zdobuvachiv druhooho mahisterskoho rivnia vyshchoi osvity spetsialnosti 101 «Ekolohiia» osvitoi prohramy «Inzhenerna ekolohiia ta resursozberezhennia» [Environmental chemistry. Chemistry of organic compounds. Part 2. Derivatives of aliphatic hydrocarbons: a study guide for applicants of the second master's level of higher education, specialty 101 "Ecology" of the educational program "Engineering ecology and resource conservation"] / KPI im. Ihoria Sikorskoho. Kyiv: KPI im. Ihoria Sikorskoho, 153 p. [In Ukrainian]. <https://ela.kpi.ua/items/908b2edb-e4b0-49a6-9c60-0dc45116d099>.

7. Loviahin O. M., Muratov D. V., Shevchenko L. O., Kovalchuk V. P. Vplyv krotonovoho aldehidu na yakist spyrtu ta likero-horilchanoi produktsii [The influence of croton aldehyde on the quality of alcohol and liquor-vodka products]. Nauk. pr. Nats. un-tu kharch. tekhnolohii [Scientific works of the National University of Food Technologies]. № 24. P. 36–38. [In Ukrainian].

8. Pronk JT, Yde Steensma H, Van Dijken JP. (1996). Pyruvate metabolism in *Saccharomyces cerevisiae*. Yeast (Chichester, England). Vol. 12(16). P. 1607–1633. [https://doi.org/10.1002/\(sici\)1097-0061\(199612\)12:16<1607::aid-yea70>3.0.co;2-4](https://doi.org/10.1002/(sici)1097-0061(199612)12:16<1607::aid-yea70>3.0.co;2-4).

9. Boumba, V., Ziavrou, K., Vujuk, Th. (2008). Biochemical pathways generating post-mortem volatile compounds co-detected during forensic ethanol analyses. Forensic science international. № 174. P. 133–51. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2007.03.018>.

10. Shichang Yan, Wenlong Xu, Haiming He, Jiecan Shen, Yu Shi, Songsong Xu, Boqing Liu, Yiming Ma, Qingbo Xiao, Zhiyang Zhang, Mi Hu, Jinhua Liang, Xiaoqian Ren. (2022). Efficient Synthesis of C4 Compound with Low Carbon Emission from Acetaldehyde: Aldol Condensation Catalyzed by Regulable Acidic–Alkaline Al/Mg Sites of CuMgAlO / Industrial & Engineering Chemistry Research. № 61 (27). P. 9544–9551 <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.2c00456>.
11. Pasel Joa., Häusler Jo., Schmitt D., Valencia H., Mayer Joa., Peters, R. (2023). Aldol condensation of acetaldehyde for butanol synthesis: A temporal analysis of products study. Applied Catalysis B: Environmental. Vol. 324. № 122286, <https://doi.org/10.1016/j.apcatb.2022.122286>.
12. Aitchison, H., Wingad, R. L., Wass, D. F. (2016). Homogeneous Ethanol to Butanol Catalysis – Guerbet Renewed. ACS Catalysis. № 6 (10). P. 7125–7132. <https://doi.org/10.1021/acscatal.6b01883>.
13. Mamontova E., Favier I., Pla D., Gómez M. (2022). Organometallic interactions between metal nanoparticles and carbon-based molecules: A surface reactivity rationale. Chapter Two. Advances in Organometallic Chemistry. Editor(s): Pedro J. Pérez. Academic Press. Vol. 77. P. 43–103, <https://doi.org/10.1016/bs.adomc.2022.01.004>.
14. Marynchenko V. O., Domaretskyi V. A., Shyian P. L. (2003). Tekhnolohiia spyrtyu: pidruchnyk [Alcohol technology: textbook]. Vinnytsia: «Podillia-2000». 496p. [In Ukrainian].
15. Babytskyi A.I., Drozd P.Iu. (2017). Obiekty biotekhnolohichnykh vyrobnytstv. Korotkyi kurs lektsii dlia studentiv OS «Bakalavr» dennoi i zaochnoi formy navchannia ahrarnykh vuziv III–IV rivnia akredytatsii spetsialnosti 162 «Biotekhnolohiia ta bioinzhenieriia». [Objects of biotechnological production. A short course of lectures for full-time and part-time students of OS "Bachelor" of agricultural universities of the III-IV accreditation level of specialty 162 "Biotechnology and bioengineering"] Metodychni rekomendatsii. Kyiv. Vydavnychiy tsentr NUBiPU. 121 p. [In Ukrainian].
16. Kyrylenko, R. H., Shyian P. L., Mudrak T. O. (2005). Nakopychennia letkykh domishok v dozrylykh brazhkakh v zalezhnosti vid kontsentratsii sukhykh rehovyn ta temperatury zbrodzhuвання susla. [Accumulation of volatile impurities in mature brews depending on the concentration of dry substances and the temperature of wort fermentation]. Naukovi zdobutky molodi – vyrishenniu problem kharchuvannia liudstva u XXI stolitti: tez. dop. 71-yi. nauk. konf. molodykh vchenykh, apirantiv i studentiv [Scientific achievements of youth – solving the problems of human nutrition in the 21st century: theses of the reports of the 71st. of science conf. of young scientists, trainees and students], 18–19 kvitnia 2005 r. K : NUKhT, Ch. II. P. 14. [In Ukrainian].
17. Shyian P., Marynchenko V., Fishchenko A., Mudrak T. (2004). Vplyv antyseptykiv na nakopychennia letkykh domishok u spyrtovykh brazhkakh. [The effect of antiseptics on the accumulation of volatile impurities in alcoholic beverages]. Kharch. i pererobna prom-st [Food and processing industry] K.: Nyva, 2004. №. 5. P. 19–20. [In Ukrainian].
18. Onuki, S., Koziel, J., Jenks, W., Cai, L., Grewell, D., Van Leeuwen, H. (2016). Taking ethanol quality beyond fuel grade: A review. Journal of the Institute of Brewing. № 122. P. 588–598. <https://doi.org/10.1002/jib.364>.
19. Palianytsia L. Ya., Berezovska N. I., Kosiv R. B. (2022). Vplyv umov biokonversii zernovoi syrovyny na sklad letkykh rehovyn dystyliativ. [Influence of the conditions of bioconversion of grain raw materials on the composition of volatile substances of distillates]. Chemistry, Technology and Application of Substances, 2022. Vol. 5, № 1. P. 117–126. [In Ukrainian]. <https://doi.org/10.23939/ctas2022.01.117>.
20. Levandovskyi L. V., Bondar M. V. (2016). Osoblyvosti metabolizmu drizhdzhiv pry yikh retsyrukuliatsii v umovakh spyrtovoi fermentatsii meliasnogo susla [Peculiarities of yeast metabolism during their recirculation under the conditions of alcoholic fermentation of molasses wort] Mikrobiolohichniy zhurnal [Microbiological Journal]. T. 78, № 1. P. 44–53. [In Ukrainian]. http://nbuv.gov.ua/UJRN/MicroBiol_2016_78_1_6.
21. Ivanov S. V., Shyian P. L., Bulii Yu. V. (2014). Vykorystannia mekhanotronnykh pidsystem v protsesi vyluchennia ta kontsentrivannia orhanichnykh domishok spyrtyu [The use of mechanotronic subsystems in the process of extraction and concentration of organic alcohol impurities]. Kharchova promyslovisht [Food industry]. K.: NUKhT, 2014. № 15. P. 36–41. [In Ukrainian]. <https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/30af9f0d-fa0d-43de-8ed8-427cb6512ba3/content>.
22. Atsushi Ikari, Yasuo Hatate, Ryoko Deguchi (1978). Continuous distillation of aqueous solution of ethanol containing a minute amount of crotonaldehyde. Journal of Chemical Engineering of Japan. V. 11, I. 4. P. 265–270, <https://doi.org/10.1252/jcej.11.265>.

23. Bulii Yu. V., Zinchenko O. I. (2019). Enerhooshchadna tekhnolohiia perehonky brazhky i rozghonky spyrtovmisnykh fraktsii [Energy-saving technology of wort distillation and distillation of alcohol-containing fractions]. Advances of Science: Proceedings of articles the international scientific conference. Czech Republic, Karlovy Vary – Ukraine, Kyiv, 17 May 2019. P. 36–46. [In Ukrainian]. <https://dspace.nuft.edu.ua/handle/123456789/29656>.

24. Bulii Yu. V., Obodovych O. M., Sydorenko V. V., Sheiko T. V. (2020). Perspektyvni napriamky enerhozberezhennia v protsesakh masoobminu mizh ridynoiu i paroiu [Prospective directions of energy saving in mass transfer processes between liquid and steam]. Prodovolchi resursy [Food resources]. T. 8, № 15. P. 32–40. [In Ukrainian]. http://nbuv.gov.ua/UJRN/pr_2020_8_15_6.

25. Mylyk M. (2000). Vplyv podachi vody v epiuratsiinu kolonu BRU priamoi dii na vydilennia holovnykh domishok [The influence of water supply to the direct-action purification column of the BRU on the separation of the main impurities]. Visnyk Ternopil'skoho derzhavnoho tekhnichnoho universytetu imeni Ivana Puliua [Bulletin of the Ternopil State Technical University named after Ivan Pulyu]. № 1. P. 122–129. [In Ukrainian].

https://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/38601/2/TSTUSJ_2000v5n1_Mylyk_M-The_influence_of_water_feeding_122-129.pdf.

26. Patent na korysnu model [Utility model patent]. №25697, Ukraina, C12F3/00. (2004). Sposib vyrobnytstva spyrtu etylovoho rektyfikovanoho [The method of production of rectified ethyl alcohol]. № 20041109428, zaiavl. 17.11.2004; opubl. 27.08.2007.2s. [In Ukrainian].

27. Shyian P. L., Boiarchuk Ya. A. (2012). Doslidzhennia rukhu orhanichnykh domishok spyrtu po rozghinnii koloni, yaka pratsiuie pid tyskom nyzhchym za atmosferyni [Study of the movement of organic impurities of alcohol in an expansion column operating under pressure lower than atmospheric]. Ukrainian food journal [Ukrainian food journal] № 3. P. 12–15. http://nbuv.gov.ua/UJRN/UFJ_2012_3_4.

28. Boiarchuk Ya. A. (2016). Innovatsiina tekhnolohiia vyrobnytstva spyrtu z krokhmalevmisnoi syrovyny : avtoref. dys. ... kand. tekhn. nauk: 05.18.05 [Innovative technology of alcohol production from starch-containing raw materials: autoref. thesis ... candidate technical Sciences: 05.18.05]. Nats. un-t kharch. tekhnolohii. Kyiv. 20 p.

**БОРОШНОМЕЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ЗЕРНА ПШЕНИЦІ М'ЯКОЇ ОЗИМОЇ
ЗАЛЕЖНО ВІД СОРТУ**

Костецька К. В., к.с.-г.н., доцент, доцент кафедри харчових технологій
<https://orcid.org/0000-0003-2387-5400>

Герасимчук О. П., к.с.-г.н., доцент, доцент кафедри харчових технологій
<https://orcid.org/0000-0003-4242-0946>

Соловей В. О., здобувач II-го рівня вищої освіти
<https://orcid.org/0009-0009-5228-8062>

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-09>

Предмет. Вивчення особливостей сорту зерна пшениці через оцінювання їхніх борошномельних показників дає можливість обґрунтовано встановити рекомендації щодо їхнього використання. **Мета.** Оцінювання борошномельних властивостей зерна пшениці м'якої озимої сортів української селекції: Дарунок Поділля (контроль) і Аліот, а також європейських сортів: Скаген, Нордіка, Авеню, що є відповідно німецького, чеського і французького походження в умовах Правобережного Лісостепу України. **Методи.** Для визначення якості зерна використовували стандартні методи дослідження за борошномельними показниками. **Результати.** Зерно сорту Дарунок Поділля віднесено до третього класу пшениць. На зниження класності вплинула склоподібність зерна (35,9%), а також величина масової частки білка (12,8%), що відповідала нормам другого класу зерна пшениці м'якої. Не зважаючи на високий вміст клейковини (28,6%) та білка (13,4%), зерно пшениці м'якої сорту Аліот за показником склоподібності (лише 32,7%) – визначено пшеницею III-го класу. Натомість зерно пшениці сорту Нордіка ідентифіковано третьокласним за рахунок показника масової частки білка на рівні 12,2% та склоподібності – 39,2%. Лідер за величиною склоподібності зерна (58,4%), серед варіантів дослідів, французький сорт пшениці Авеню визначений також лише третім класом за вмістом білка (12,3%). Найкращим за рядом показників визначено зразок пшениці сорту Скаген, що вирізняється високими значеннями сирової клейковини (31,7%), білка (15,0%), склоподібності (42,4%) та показником седиментації на рівні 57,4 мл. **Сфера застосування результатів.** Показник седиментації зерна сорту Аліот і Скаген характеризує названі сорти як особливо цінні у хлібопеченні. Високосклоподібне зерно французького сорту пшениці Авеню рекомендуємо використовувати для збагачення хлібопекарського борошна.

Ключові слова: зерно пшениці м'якої озимої, сорт, стандарт, методи дослідження, склоподібність, вміст білка, вміст та якість клейковини, вміст крохмалю, седиментація, клас якості

FLOUR PROPERTIES OF SOFT WINTER WHEAT DEPENDING ON THE VARIETY

Kateryna Kostetska, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor
<https://orcid.org/0000-0003-2387-5400>

Olena Herasymchuk, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor
<https://orcid.org/0000-0003-4242-0946>

Vitalii Solovei, applicant for higher education
<https://orcid.org/0009-0009-5228-8062>

Uman National University of Horticulture, Uman, Ukraine

Subject. The study of the properties of the wheat grain variety through the assessment of their flour-milling indicators makes it possible to reasonably establish recommendations for their use. **Purpose.** Assessment of flour-milling properties of soft winter wheat grain of Ukrainian breeding varieties Darunok Podillia (control) and Aliot, as well as European varieties Skagen, Nordica, Avenue, which are respectively of German, Czech and French origin in the conditions of the Right Bank Forest-Steppe of Ukraine. **Methods.** To determine quality of the grain, standard research methods were used based on flour-milling indicators. **Results.** Grain of Darunok Podillia variety belongs to the third class of wheat. The decrease in quality was influenced by the vitreousness of the grain (35.9%), as well as value of the mass content of protein (12.8%), which corresponded to the norms of the second class of soft wheat

grain. Despite the high content of fiber (28.6%) and protein (13.4%), soft wheat grain of Aliot variety is determined by the vitreousness index (only 32.7%) as wheat of the third class. On the other hand, Nordica wheat grain is identified as third-class due to the indicator of the mass content of protein at the level of 12.2% and vitreousness – 39.2%. The leader in terms of grain vitreousness (58.4%), among the variants of the experiment, French wheat variety Avenue was also determined to be only the third class in terms of protein content (12.3%). Skagen wheat sample was determined to be the best in terms of a number of indicators, characterized by high values of crude fiber (31.7%), protein (15.0%), vitreousness (42.4%) and a sedimentation index at the level of 57.4 ml. **Scope of results.** Grain sedimentation index of Aliot and Skagen varieties characterizes the named varieties as particularly valuable in bread baking. Highly vitreous grain of French wheat variety Avenue is recommended to be used to enrich baking flour.

Key words: soft winter wheat grain, variety, standard, research methods, vitreousness, protein content, gluten content and quality, starch content, sedimentation, quality class

Постановка проблеми. Однією з основних проблем людства залишається продовольча безпека. Сьогодні, агресія російської федерації проти України робить дану проблему кризовою. Стабільне виробництво продуктів перероблення зерна високої якості допоможе не допустити Світової продовольчої кризи та зробить можливим забезпечити населення доступною їжею у кризовий період.

З повномасштабною війною Україна зіткнулася з неможливістю експорту зерна з країни та як наслідок, відбулося накопичення значних зернових запасів, переважно злакових культур. Саме тому є актуальним оцінити особливості сорту пшениці зі встановленням рекомендацій до перероблення зерна на борошняні вироби.

Вивчення особливостей сорту зерна пшениці через оцінювання їхніх борошномельних показників зерна дає можливість обґрунтовано встановити рекомендації щодо їхнього використання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Пшениця м'яка (*Triticum aestivum* L.), включаючи її озиму форму є найважливішою культурою у світі [1]. Зерно пшениці зазвичай використовується для продовольчих і кормових цілей [2, 3]. Після його перероблення отримують борошно, крупи, макаронні та хлібобулочні вироби, використовують як добавку до інших продуктів харчування [4, 5].

Збільшення виробництва зерна і підвищення його якості залишається основною проблемою сільськогосподарського виробництва в Україні, вирішити ці завдання можна лише на основі раціонального використання земельних ресурсів, впроваджуючи в кожному господарстві науково обґрунтовану систему землеробства, підвищуючи родючість ґрунту і застосовуючи інтенсивні технології вирощування зернових культур [6–9].

Якість зерна визначається сукупністю властивостей. Залежно від призначення продукції, сукупність властивостей, за якими оцінюють якість, буде різною [10–12].

За останні 15–20 років спостерігаємо значний прогрес в аспекті поліпшення харчової цінності зерна пшениці через введення в її геном генів від дикоростучих родичів, використання генно-інженерних технологій та гармонійне поєднання якості борошна інших злаків. Однак, попри вагомі успіхи сучасної світової генетики, біотехнології, селекції й технології вирощування і переробки зерна пшениці, невирішеною або не до кінця вирішеною залишається ще низка питань. Особливо тривожним є відставання вітчизняної української селекції пшениці щодо якості зерна від провідних світових виробників (ЄС, США, Канада, Австралія) [7]. На жаль, якість зерна, вирощеного на території України, часто не відповідає світовим стандартам. А на внутрішньому ринку нині недостатньо якісного борошна для виготовлення хліба і хлібопродуктів відповідної якості [12].

Метою досліджень є оцінювання якості за борошномельними показниками зерна зразків пшениці м'якої озимої українських і європейських сортів в умовах Правобережного Лісостепу України.

Матеріали та методи. Зерно пшениці вирощували на виробничих полях фермерських господарств «Пролісок+» і «Боднюк», що в Гайсинському районі Вінницької області. Дослідження проводили впродовж 2021...2023 рр. на кафедрі харчових технологій Уманського національного університету садівництва.

Предметом дослідження були борошномельні властивості зерна пшениці м'якої озимої сортів української селекції: Дарунок Поділля (контроль) і Аліот, а також європейські сорти: Скаген, Нордіка, Авеню, що є відповідно німецького, чеського і французького походження.

Для визначення якості зерна використовували стандартні методи: відбір проб (ДСТУ ISO 13690; ДСТУ 3355); визначення кольору і запаху (ГОСТ 10967; ГОСТ 10847); склоподібність (ГОСТ 10987); масову частку білка (ДСТУ 4117); масову частку крохмалю (ГОСТ 10845); кількість і якість клейковини (показник ВДК) (ДСТУ 4117; ДСТУ ISO 21415); індекс седиментації (ДСТУ ISO 5529).

Результати та їх обговорення. Відповідно до мети та завдань роботи було визначено головні показники якості зерна зразків пшениці м'якої озимої сортів, що вивчали. Це дало можливість зробити ряд висновків щодо його використання. У залежності від показників якості (ДСТУ 3768:2019) пшеницю м'яку поділяють на чотири класи. Слід зазначити, що м'яку пшеницю 1...3 класів використовують для продовольчих цілей, а також з метою експортування. Тоді як пшеницю 4-го класу використовують на продовольчі і непродовольчі потреби та на експорт.

На рис. 1–4 наведено оцінювання якості зерна пшениці озимої сортів, що вивчали у порівнянні з нормами якості стандарту ДСТУ 3768:2019 та даними джерел літератури [1, 3, 4, 6, 8, 9].

Високий показник склоподібності зерна пшениці сортів закордонної селекції Авеню та Скаген, на рівні 58,4 і 42,4% відповідно, забезпечить вихід високоякісної купи перших (крупніших) номерів і борошна вищого сорту (рис. 1). Склоподібність інших сортів, що вивчали знаходилась у межах 32,7...39,2%, що відповідає нормам для третього класу зерна пшениці м'якої.

Консистенція ендосперму впливає як на режим зволоження так і відволоження, що використовуються у технології підготовки зерна до луцення задля покращення його технологічних показників [3].

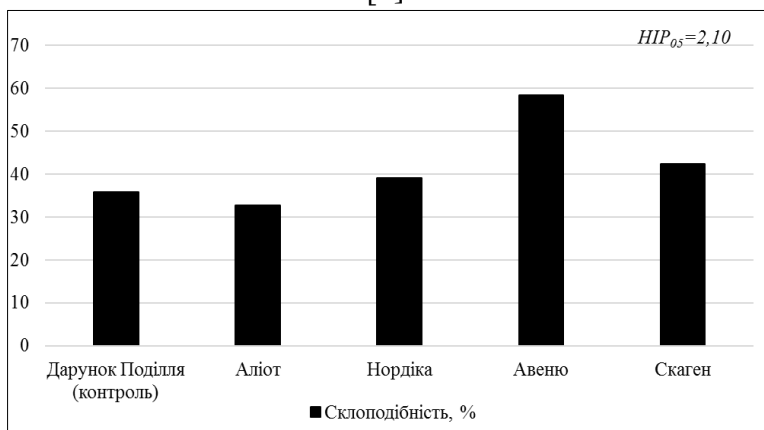


Рис. 1. Склоподібність зерна пшениці

Примітка. Допустима норма склоподібності для зерна пшениці м'якої (ДСТУ 3768:2019) для класу: 1-го/2-го/3-го/4-го, % – не менше ніж 50/40/не обмежено/«».

За основним із борошномельних показників якості зерна – кількістю сирової клейковини вищі значення зафіксовано у зерні сортів Скаген, Аліот і Дарунок Поділля й були на рівні 31,7, 28,6 і 28% відповідно, що відносить їх до пшениць першого класу. Зерно ж сортів Авеню і Нордіка за даним показником відповідає другому класу пшениці зі значеннями 26,3 і 24,9% відповідно (рис. 2).

Масова частка сирової клейковини корелює з білком зерна (рис. 2). Проте визначена його кількість відповідає нормам першому класу зерна лише для сорту Скаген (15%), для сортів Аліот (13,4%) і Дарунок Поділля (12,8%) – другому класу та для Авеню і Нордіка – третьому.

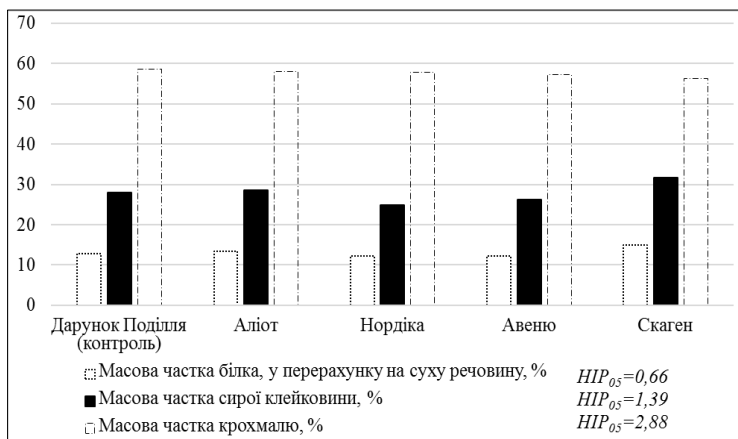


Рис. 2. Вміст деяких компонентів хімічного складу зерна пшениці

Примітки:

¹Допустима норма для зерна пшениці м'якої (ДСТУ 3768:2019) для класу: 1-го/2-го/3-го/4-го, %: масова частка білка, у перерахунку на суху речовину – не менше ніж 14,0/12,5/11,0/не обмежено; масова частка сирої клейковини – не менше ніж 28,0/23,0/18,0/не обмежено.

²Масова частка крохмалю в зерні пшениці м'якої згідно джерел літератури [4, 12] – 30...50%.

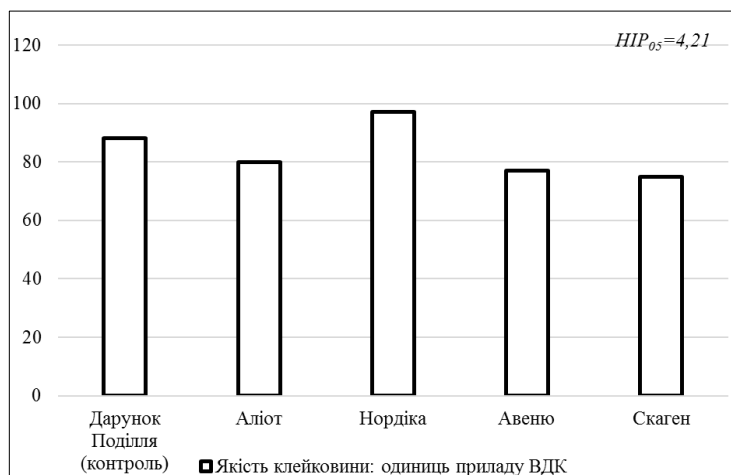


Рис. 3. Якість сирої клейковини зерна пшениці

Примітка. Допустима норма якості клейковини для зерна пшениці м'якої (ДСТУ 3768:2019) для класу: 1-го/2-го/3-го/4-го, од. пр. ВДК – 45–100/«/«/«/не обмежено.

таке, що призначене для виготовлення борошна для одержання гарантовано якісних хлібобулочних продуктів. На світовому ж ринку показник седиментації має особливе значення, як під час експорту, так і за імпорту зернових, і навпаки: показник повільної седиментації дозволяє визначити пошкодження борошна шкідниками хлібних запасів, такими як клоп-черепашка.

На рис. 4 наведено результати проведених досліджень щодо визначення показника седиментації по Зелені в контрольному зразку борошна із зерна м'якої пшениці контрольного сорту Дарунок Поділля та інших сортів, що вивчали. Так, задовільну характеристику отримали усі зразки пшениці, при чому показник седиментації зерна сорту Аліот знаходився на верхніх значеннях літературних джерел, а сорту Скаген – перевищував літературні дані, що може характеризувати названі сорти як особливо цінні у хлібопеченні.

Важливою характеристикою якості сорту пшениці є вміст крохмалю в зерні. Найбільшу частку крохмалю мав контрольний зразок (59%), що на 2,5% перевищувало показник сорту Скаген. Загалом у досліді середнє значення цього показника було на рівні 58%.

Якість клейковини зерна, що вивчали віднесено до другої групи якості, що характеризується як задовільна слабка, за виключення зерна сортів Авеню і Скаген, у яких за значень відповідно 77 і 75 од. пр. ВДК, клейковина була хоро-шою, тобто першої групи якості (рис. 3).

Тест Зелені або ж седиментаційний аналіз за методом Зелені переважно використовують для оцінки якості і сили борошна, що виготовлено із зерна м'якої пшениці. Даний метод вимірювання базується на здатності білка пшениці, що міститься в зерні, набухати у кислому середовищі і характеризується показником седиментації (індексом Зелені). Це дозволяє визначити цінність пшениці та її цільове призначення на етапі заготівлі [ДСТУ ISO 5529:2014].

Зерно ж з високим показником седиментації – це

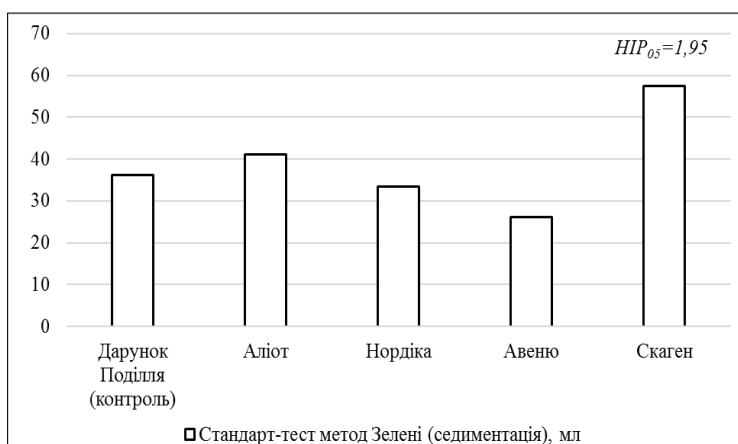


Рис. 4. Седиментація зерна пшениці

Примітка. Седиментація зерна пшениці м'якої згідно джерел літератури [1, 3] – 18...46 мл.

пшениці, що вивчали мають ознаки властиві даній культурі.

Висновки. Отже, зерно має стандартні показники свіжості й якості. Це дозволяє використовувати його не лише у цілях фуражних, а й в інших галузях перероблення, у т. ч. для виготовлення круп і борошна. Зерно сорту *Дарунок Поділля* віднесено до третього класу пшениць. На зниження класності вплинула склоподібність зерна (35,9%), а також величина масової частки білка (12,8%), що відповідали нормам другого класу зерна пшениці м'якої. Не зважаючи на високий вміст клейковини (28,6%) та білка (13,4%), зерно сорту *Аліот* за показником склоподібності (лише 32,7%), визначено пшеницею третього класу. Натомість пшеницю сорту *Нордіка* ідентифіковано третьюкласним зерном за рахунок масової частки білка на рівні 12,2% та склоподібності – 39,2%. Лідер за величиною склоподібності (58,4%) серед варіантів досліду французький сорт пшениці *Авеню* визначений також лише третім класом за вмістом білка (12,3%). Сорт *Скаген* визначено найкращим за рядом показників: сирою клейковиною (31,7%), білком (15,0%), числом паданням (284 с), склоподібністю (42,4%) та величиною седиментації на рівні 57,4 мл.

Подяки. Для проведення досліджень надали допомогу з забезпечення (вирощування, збір, підготовка) зерна пшениці ФГ «Боднюк» відповідно до договору №1/23 від 10.04.2023.

Бібліографія

1. Костецька К. В., Герасимчук О. П. Quality of spring wheat grain varieties under application of mineral nutrition elements. Вісник Уманського національного університету садівництва, 2023. № 1, С. 101–108. <https://doi.org/10.32782/2310-0478-2023-1-101-108>.
2. Ben-Ari T., Makowski D. Analysis of the trade-off between high crop yield and low yield instability at the global scale. Environmental Research Letters, 2016, 11(10), 104005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/10/104005>.
3. Kostetska, K. Ulianych, O., Shevchuk, K. Technological properties of wheat flour with additives. Agronomy Research, 2023, 21(2), 788–798. <https://doi.org/10.15159/ar.23.098>.
4. Єремеева О. А., Харченко Є. І., Любич В. В. Технологічні процеси переробки зерна пшениці в борошно: моногр. Київ, 2021. 160 с.
5. Siddiqi R. A., Singh T. P., Rani M., Sogi D. S., Bhat M. A. Diversity in grain, flour, amino acid composition, protein profiling, and proportion of Total flour proteins of different Wheat cultivars of North India. Front Nutr., 2020, 7, 141. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00141>.
6. Сухомуд О. Г., Любич В. В. Урожай і якість зерна пшениці ярої за різних умов мінерального живлення. Вісник Уманського НУС. 2013. №2, С. 51–55.
7. Khalid A., Hameed A, Tahir MF. Estimation of genetic divergence in Wheat genotypes based on agro-morphological traits through agglomerative hierarchical clustering and principal component analysis. Cereal Res Commun., 2020, 50, 1–8. <https://doi.org/10.1007/s42976-022-00287-w>.

8. Герасимчук О. П., Костецька К. В. Формування технологічних властивостей зерна пшениці озимої за внесення різних доз та термінів елементів азотного живлення. Вісник Уманського НУС. 2022. № 1. С. 64–68. <http://10.31395/2310-0478-2022-1-64-69>.

9. Герасимчук О. П., Костецька К. В., Чернега А. О. Сортова продуктивність і якість зерна пшениці м'якої ярої в умовах Правобережного Лісостепу України. Вісник Уманського НУС. 2022. № 1, 58–63. <http://10.31395/2310-0478-2022-1-58-63>.

10. ДСТУ 4138-2002. Насіння сільськогосподарських культур. Методи визначення якості. Державний стандарт. К.: Держспоживстандарт України, 2003, 173 с.

11. Anam Khalid, A.H., Shamim, S., Ahmad, J. Divergence in single kernel characteristics and grain nutritional profiles of wheat genetic resource and association among traits. *Front Nutr.*, 2022, 8, 805446. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.805446>.

12. Impa S. M., Vennapusa A. R., Bheemanahalli R., Sabela D., Boyle D., Walia H., Jagadish K. S. V. High night temperature induced changes in grain starch metabolism alters starch, protein, and lipid accumulation in winter Wheat. *Plant Cell Environ.*, 2020, 43, 431–447. <https://doi.org/10.1111/pce.13671>.

References

1. Kostetska, K.V., Herasymchuk, O.P. (2023). Quality of spring wheat grain varieties under application of mineral nutrition elements. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*. [Bulletin of Uman National University of Horticulture], 1, 101–108. <https://doi.org/10.32782/2310-0478-2023-1-101-108>.

2. Ben-Ari, T., Makowski, D. (2016). Analysis of the trade-off between high crop yield and low yield instability at the global scale. *Environmental Research Letters*, 11(10), 104005. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/10/104005>.

3. Kostetska, K. Ulianych, O., Shevchuk, K. (2023). Technological properties of wheat flour with additives. *Agronomy Research*, 21(2), 788–798. <https://doi.org/10.15159/ar.23.098>.

4. Ieremeieva, O. A., Kharchenko, Ye. I., Liubych, V. V. (2021). *Tekhnologichni protsesy pererobky zerna pshenytsi v boroshno*. [Technological processes of processing wheat grain into flour]: monograph. Kyiv. [in Ukrainian].

5. Siddiqi, R. A., Singh, T. P., Rani, M., Sogi, D. S., Bhat, M. A. (2020). Diversity in grain, flour, amino acid composition, protein profiling, and proportion of Total flour proteins of different Wheat cultivars of North India. *Front Nutr.*, 7, 141. <https://doi.org/10.3389/fnut.2020.00141>.

6. Sukhomud, O. H., Liubych, V. V. (2013). Urozhai i yakist zerna pshenytsi yaroї za riznykh umov mineralnoho zhyvlennia. [Yield and grain quality of spring wheat under different conditions of mineral nutrition]. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*. [Bulletin of Uman National University of Horticulture], 2, 51–55. [in Ukrainian].

7. Khalid, A., Hameed, A., Tahir, MF. (2022). Estimation of genetic divergence in Wheat genotypes based on agro-morphological traits through agglomerative hierarchical clustering and principal component analysis. *Cereal Res Commun.*, 50, 1–8. <https://doi.org/10.1007/s42976-022-00287-w>.

8. Herasymchuk, O. P., Kostetska, K. V. (2022). Formuvannia tekhnologichnykh vlastyvostei zerna pshenytsi ozymoї za vnesennia riznykh doz ta terminiv elementiv azotnoho zhyvlennia. [The formation of technological properties of winter wheat grain with the introduction of different doses and terms of elements of nitrogen nutrition]. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*. [Bulletin of Uman National University of Horticulture], 1, 64–68. <http://10.31395/2310-0478-2022-1-64-69>. [in Ukrainian].

9. Herasymchuk, O. P., Kostetska, K. V., Cherniha, A. O. (2022). Sortova produktyvnist i yakist zerna pshenytsi miakoi yaroї v umovakh Pravoberezhnoho Lisostepu Ukrainy. [Varietal productivity and grain quality of soft spring wheat in the conditions of the Right Bank Forest Steppe of Ukraine]. *Visnyk Umanskoho natsionalnoho universytetu sadivnytstva*. [Bulletin of Uman National University of Horticulture], 1, 58–63. <http://10.31395/2310-0478-2022-1-58-63>. [in Ukrainian].

10. DSTU 4138-2002. Nasinnia silskohospodarskykh kultur. Metody vyznachennia yakosti. [Seeds of agricultural crops. Methods of determining quality]. *Derzhavnyi standart*. [National standardization basic principles]. Kyiv, Derzhpozhyvstandart Ukraine. 2003. 173 p. [in Ukrainian].

11. Anam Khalid, A. H., Shamim, S., Ahmad, J. (2022). Divergence in single kernel characteristics and grain nutritional profiles of wheat genetic resource and association among traits. *Front Nutr.*, 8, 805446. <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.805446>.

12. Impa, S. M., Vennapusa, A. R., Bheemanahalli, R., Sabela, D., Boyle, D., Walia, H., Jagadish, K. S. V. (2020). High night temperature induced changes in grain starch metabolism alters starch, protein, and lipid accumulation in winter Wheat. *Plant Cell Environ.*, 43, 431–447. <https://doi.org/10.1111/pce.13671>.

**БІОТЕХНОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ПЕРЕРОБКИ БУРЯКОВОГО ЖОМУ
НА БІОЕТАНОЛ**

Кузнєцова І. В., с.н.с., д.с.-г.н.,
завідувачка відділу технології цукру, цукропродуктів та інгредієнтів,
<https://orcid.org/0000-0001-8530-2099>

Хомічак В. Л., с.н.с.
відділу технологій продуктів бродіння,
<https://orcid.org/0009-0002-0593-9757>

Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-10>

Предмет. Лігніноцелюозна та цукровмісна сировина. Дослідження способів використання біопотенціалу бурякового жому як лігніноцелюлозовмісної сировини для виробництва біоетанолу. **Мета.** Аналіз наукових даних щодо використання біопотенціалу бурякового жому для виробництва біопалива. **Методи.** Аналітичний. **Результати.** У біотехнології біомаса та сахароза зазвичай переробляються за допомогою одного з трьох методів: анаеробного дигерування, ферментації або ферментативних реакцій. Отже, буряковий жом є гарною сировиною для виробництва як біогазу (що містить переважно CH_4 , CO_2 та N_2 , H_2S , NH_3) так і водню, біоетанолу, біобутанолу та молочної кислоти. Біотехнологічні процеси включають підготовку сировини, яка ґрунтується на механічних, фізико-хімічних, ферментативних або хімічних процесах з метою отримання суміші вуглеводів як мікробіологічного середовища. Впровадження біотехнологій з перетворення жому бурякового як лігніноцелюлозовмісної сировини в біоетанол є альтернативою вуглецевмісному паливу для транспортних засобів. Вихід біоетанолу з жому бурякового становить 0,1 г/г сухої маси. Правильна підготовка сировини та науково обґрунтоване застосування біотехнологічних процесів сприятиме усуненню основної проблеми цукрових заводів – сезонності виробництва. Крім того, одним з продуктів біотрансформації м'яси також буде отримання зрідженого оксиду вуглецю та м'ясної барди. Ферментативний гідроліз є екологічно чистим і водночас високовартісним. Це сприяло впровадженню мікробного оцукрення сировини, яка полягає у виробництві ферментів, що руйнують лігніноцелюлозу. При мікробіологічному гідролізі часто використовуються штами цвілі, які вивільняють моносахариди з полісахаридного субстрату. Значні переваги використання мікроорганізмів у біохімічних процесах надаються високій селективності ферментів та м'яким умовам протікання реакції, що сприятиме виробництву конкурентоспроможних продуктів з високим виходом. **Сфера застосування результатів.** Цукробурякова галузь.

Ключові слова: буряковий жом, м'яса, біоетанол, ферментативний гідроліз, штами мікроорганізмів

BIOTECHNOLOGICAL ASPECTS OF PROCESSING BEET PULP INTO BIOETHANOL

Inha Kuznietsova, D-r of Sc., Engineering, Senior Researcher,
Head of Department of Sugar Technology, Sugar Products and Ingredients
<https://orcid.org/0000-0001-8530-2099>

Volodymyr Khomichak, Senior Researcher
of Department of Technologies of Fermentation Products.
<https://orcid.org/0009-0002-0593-9757>

Institute of Food Resources NAAN, Kyiv, Ukraine

Subject. Linoleic and sugar-containing raw materials. Research on methods of using the biopotential of beet pulp as a lignin-cellulose-containing raw material for the production of bioethanol. **Methods.** Analytical. **Results.** In biotechnology, biomass and usually sucrose processed using one of three methods: anaerobic digestion, fermentation, or enzymatic reactions. So, beet pulp is a good raw material for the production of both biogas (containing mainly CH_4 , CO_2 and N_2 , H_2S , NH_3) and hydrogen, bioethanol, biobutanol and lactic acid. Biotechnological processes include the preparation of raw materials, which based on mechanical, physicochemical, enzymatic or chemical processes in order to obtain a mixture of sugars as a microbiological environment. The introduction of biotechnologies for the

transformation of beet pulp as a lignin-cellulose-containing raw material into bioethanol is an alternative to carbon-containing fuel for vehicles. The yield of bioethanol from beet pulp is 0.1 g/g of dry weight. Correct preparation of raw materials and scientifically based application of biotechnological processes will contribute to the elimination of the main problem of sugar factories – seasonality of production. In addition, one of the products of biotransformation of molasses will also be liquefied carbon monoxide and molasses bard. Enzymatic hydrolysis is environmentally friendly and at the same time high-cost. This contributed to the introduction of microbial saccharification of raw materials, which consists in the production of enzymes that destroy lignin cellulose. Microbiological hydrolysis often uses mold strains that release monosaccharides from the polysaccharide substrate. Significant advantages of using microorganisms in biochemical processes provided by high selectivity of enzymes and mild reaction conditions, which will contribute to the production of competitive products with high yield. **Scope of results.** Sugar beet industry.

Key words: beet pulp, molasses, bioethanol, enzymatic hydrolysis, strain of microorganisms.

Постановка проблеми. Біоетанол – це біологічне паливо, яке має високе октанове число і зазвичай використовується в транспортному секторі (етил третин-бутиловий етер (ЕТБЕ)). Паливний біоетанол, на відміну від харчового спирту, можна одержувати з целюлози та рослинних відходів сільського господарства. Однак, технологія технологія паливного біоетанолу вимагає додаткового зневоднення продукту, оскільки внаслідок присутності 4% води в дистиляті відбуватиметься розшарування спирто-бензинової суміші.

Виробництво біоетанолу зростає і перевищило 47 млрд. л, з яких в Бразилії отримують 38% і в США – 36%. У США біоетанол виробляють із кукурудзи, у Бразилії – із цукрової тростини. Незважаючи на те, що американський уряд надав виробникам податковий кредит (не субсидії) до \$0,51 за галон етанолу, бразильський продукт є дешевшим через низьку заробітну плату збирачів цукрової тростини. Найбільшими виробниками біоетанолу в США є компанії Archer Daniels Midland і Cargill. За даними Асоціації поновлюваних видів палива (RFA), близько ста американських заводів із виробництва спирту виробляють більше 17 млрд. л/рік. У RFA розраховують, що 18 додаткових заводів, споруджуваних у США, додадуть близько 3,4 млрд л до річного виробництва [1, 2].

Метилтретинний бутиловий етер (МТБЕ), який використовується для збільшення октанового числа, був заборонений в США і Канаді. ЕТБЕ (від 45% біоетанол і 55% ізобутіл) наразі використовуватися в багатьох країнах замість МТБЕ [7] як домішка у бензин в кількості 5%, 10% і 85%. В кількості 85% біоетанол може використовуватись в специфічних двигунах [8]. У Законі України від 23.02.06 № 3502-IV біоетанолом названо «спирт етиловий зневоднений, вироблений із біологічно поновлюваної сировини»

Середня собівартість виробництва біоетанолу "мокрим" способом у Німеччині, за даними Institut für Weltwirtschaft Kiel (ФРН), становила в середньому для країн ЄС €0,85/л [3] (в Україні, за даними Інституту біоенергетичних культур і цукрового буряка - €0,67/л) (табл. 1).

Таблиця 1

Собівартість 1-го літру біоетанолу

Країна	Витрати на сировину, \$ дол. США	Витрати на виробництво, \$ дол. США
Цукрова тростина (Бразилія)	0,22	0,05
Кукурудза (США)	0,33	0,20
Пшениця (ЄС)	0,53	0,21
Пшениця (Україна)	0,66	0,26
Цукровий буряк (ЄС)	0,59	0,21

Джерело: FQ Light

Буряковий жом – вторинний продукт, що отримують при переробці буряків цукрових і найчастіше використовується як корм для тварин. Задля використання повного поживного потенціалу жому було розроблено біопереробну концепцію реструктуризації традиційної галузі виробництва буряків цукрових, яка включає отримання таких продуктів як пектин, фенольні сполуки та збагачений цукром гідролізат для виробництва бурштинової кислоти. Крім того, в концепції було запропоновано застосовувати нові методи отримання речовин, що ґрунтуються на підвищенні технологічної, економічної та екологічної ефективності [1, 2].

Щорічне виробництво бурякового жому в Європі становить близько 7–8 млн. тонн пресованого і близько 2–3 млн. тонн висушеного продукту [2]. Біоресурсний потенціал жому використовується на переробних підприємствах країн Європи та є одним із чинників, що зменшує викиди парникових газів та інших речовин від спалювання викопного палива. Впровадження біотехнологій з перетворення жому бурякового як лігніноцелюлозовмісної сировини в біоетанол є альтернативою вуглецевмісному паливу для транспортних засобів. Вихід біоетанолу з жому бурякового становить 0,1 г/г сухої маси [3–5]. Так, у м. Стшеліні (Польща) розташований біогазовий завод, який працює цілий рік виключно на буряковому жомі. Цукрові заводи Сербії переходять на технології другого покоління [6].

Таким чином, впровадження сучасних біотехнологічних рішень для переробки сировини другого покоління є еколого- і ресурсоощадним рішенням для цукробурякового виробництва у сучасних умовах енергобезпеки.

Об'єкт досліджень: дослідження способів використання біопотенціалу бурякового жому як лігніноцелюлозовмісної сировини для виробництва біоетанолу.

Предмет досліджень: лініно-целозна та цукровмісна сировина.

Метою роботи є аналіз наукових даних щодо використання біопотенціалу бурякового жому у виробництві біопалива.

Результати та обговорення. У біотехнології біомаса та сахароза зазвичай переробляються за допомогою одного з трьох методів: анаеробного дигерування, ферментації або ферментативних реакцій. Отже, буяковий жом є гарною сировиною для виробництва як біогазу (що містить переважно CH_4 , CO_2 та N_2 , H_2S , NH_3) так і водню, біоетанолу, біобутанолу та молочної кислоти. Біотехнологічні процеси включають підготовку сировини, яка ґрунтується на механічних, фізико-хімічних, ферментативних або хімічних процесах з метою отримання суміші вуглеводів як мікробіологічного середовища. Перетворення сахарози також можливе безпосередньо без попередньої обробки, оскільки її отримують на цукровому заводі як чисту речовину, придатну для прямого перетворення прямої конверсії, прямого використання в біотехнологічних процесах.

Незважаючи на значний потенціал, використання сахарози як сировини в біотехнологічних процесах є економічно недоцільним. Задля зниження собівартості, замість кристалічної сахарози можна використовувати проміжні продукти виробництва білого цукру, такі як сатураційний сік або сироп цукрових буряків. Однак їх використання в біотехнологічних процесах вимагає попереднього очищення від нецукрів за допомогою озонування або адсорбції на активному вуглецю.

Сухі речовини бурякового жому (до 85%) складаються з целюлози (20–30%), геміцелюлози (20–30%), лігнінів (1–2%) і пектинів (35–60%) [9, 10]. Ферментативний або кислотний гідроліз жому приводить до утворення суміші моносахаридів, що складаються з глюкози, фруктози, ксилози, манози, галактози та арабінози, а також галактуранової кислоти [3]. Блок-схема застосування вторинних продуктів цукрового виробництва у виробництві біоетанолу представлено на рисунку 1. Різні види полімерів, що містяться в побічних продуктах бурякоцукрового виробництва, таких як буяковий жом та меляса, у різних кількостях пов'язані один з одним. Розділення таких типів полімерів може бути

досягнуто за допомогою попередньої обробки для вивільнення їхньої цукрової складової. Отже, застосування лігніноцелюлозної сировини (жому) та вуглеводвмісної сировини (меляси) забезпечує стабільне виробництво ряду продуктів для енергетичного ринку.



Рис. 1. Використання вуглеводів, отриманих із біомаси

Лігнін не може легко перероблятися біохімічним чином, тому лігніноцелюлозна сировина, що використовується для виробництва біоетанолу, вимагає попередньої обробки, такої як термічний, кислотний або ферментативний гідроліз. Правильна підготовка сировини та науково обґрунтоване застосування біотехнологічних процесів сприятиме усуненню основної проблеми цукрових заводів – сезонності виробництва. Крім того, одним з продуктів біотрансформації меляси також буде отримання зрідженого оксиду вуглецю та мелясної барди. Попередня обробка жому необхідна для вивільнення целюлози, геміцелюлози та лігніну з їхньої складної природної форми для подальшого ферментативного гідролізу. Попередню обробку можна проводити різними способами (рис. 1), однак первинне перетворення біомаси на цукри, що входять до її складу, є основним обмеженням.

Відомі різні способи фізико-хімічного оброблення сировини, які застосовуються на практиці для меляси та бурякового жому, що полягають в: паровому вибуху, опроміненні гамма-променями, обробці кислотою та лугом, обробці перекисом водню, застосуванні різних іонних розчинників тощо. Обробка слабкою кислотою, такою як соляна (HCl) або сірчана (H₂SO₄,) використовується для ефективного гідролізу геміцелюлозних фракцій після хімічної або ферментативної обробки для деполімеризації отриманих твердих фракцій. Для ферментативної обробки використовуються різні класи гідролітичних ферментів, які зазвичай виробляються різними нитчастими грибами. Три ферменти мають комбіновану дію на різні субстрати, що приймають участь в отриманні глюкози шляхом розщеплення целюлози, яка включає енд-β-1,4-глюканази, β-глюкозидази (β-D-глюкозидні глюконідролази) та екзо-целобіогідролази. Застосування розчину сірчаної кислоти є важливим елементом технології через перетворення геміцелюлози в зброджуваний мономер цукру та підвищує доступність целюлози для гідролізу, що каталізується екзо- та ендоглюканазами. Більш ефективним способом вважається оброблення лугом для солюбілізації (розчинення) лігніну. Водночас при обробці лугом не повністю розщеплюється геміцелюлоза через проведення процесу при відносно низькій

температурі та тиску. Оброблення вапном є більш вигідною технологією, оскільки її можна використовувати для попередньої обробки жому. Лігноцелюозна біомаса також може розкладатися за допомогою біологічної обробки або при використанні певних груп грибів (білої, бурої та м'якої гнилі). Біологічна попередня обробка, спричинена грибами білої гнилі, може використовуватися для розкладання лігніну, і вона виглядає багатообіцяючою, оскільки даний метод попередньої обробки потребує менше енергії, відповідно завдає мінімальної шкоди навколишньому середовищу.

Залежно від попиту та заданих властивостей продукту бродіння, для ферментації вуглеводів підбирають певні штами бактерій або дріжджів. Зокрема, для отримання біоетанолу застосовують дріжджі такого виду як *Saccharomyces carlsbergensis* або інших мікроорганізмів шляхом ферментації без необхідності попередньої обробки цукру. Під час ферментативного гідролізу вуглеводи розщеплюються на прості цукри, які потім ферментуються та виробляють етанол. Для цього також застосовують анаеробні бактерії, здатні перетворювати глюкозу, фруктозу та сахарозу в етанол, наприклад *Zymomonas mobilis*. Отриманий етанол може виявляти пригнічувальну дію на мікроорганізми.

Пентози також ферментують в біоетанол такими штамами як *Scheffersomyces stipitis* [11–14]. Комбіновані ферментації, що проводяться дріжджами *S. cerevisiae* і *Scheffersomyces stipitis* зазвичай використовуються в біоконверсії лігноцелюозної сировини. Ці штами використовуються одночасно або додають послідовно в середовище, що містить суміш гексоз і пентоз, щоб перетворити доступні вуглеводи [15–18]. Відомим також є спосіб застосування під час мікробного гідролізу штаму *Trichoderma viride*, а також ферментації з використанням дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* і *Scheffersomyces stipites* [19, 20].

Значні переваги використання мікроорганізмів у біохімічних процесах обумовлені високою селективністю ферментів та м'яким умовам протікання реакції, що сприятиме виробництву конкурентоспроможних продуктів з високим виходом. Тому дослідження повинні зосереджуватися на підвищенні ефективності початкової стадії розкладання, зменшенні витрат на використання ферментів та покращенні їх повторного використання, а також важливо мінімізувати витрати на попередню обробку, гідроліз та ферментацію, забезпечити безперервну роботу всього процесу.

Висновки. Використання бурякового жому і меляси для виробництва біоетанолу дозволяє зменшити кількість відходів, залишаючи біоресурси в замкненому циклі виробництва. Біотехнологічні прийоми отримання біоетанолу з жому бурякового забезпечать розроблення екологічної технології, що сприятиме збільшенню виробничої ритмічності роботи цукрового заводу. Разом з тим, для розроблення такої біотехнології слід: удосконалити спосіб попереднього оброблення сировини, ретельно підібрати ферменти та штами мікроорганізмів для ефективного зброджування.

Бібліографія

1. CEFS Statistics 2021/22. <https://cefs.org/wp-content/uploads/2023/04/European-Sugar-Statistics-Reportfor-the-marketing-year-2021-22-1.pdf>. (дата звернення 24.12.2023).
2. FAO. Sugar Beet White Sugar Agribusiness Handbook. 2009. <https://www.fao.org/3/ae377e/ae377e.pdf>. (дата звернення 24.12.2023).
3. Bioethanol–European Biomass Industry Association. 2023. <https://www.Eubia.Org/Cms/Wiki-Biomass/Biofuels/Bioethanol>. (дата звернення 24.12.2023).
4. Bušić A., Mardetko N., Kundas S., Morzak G., Belskaya H., Ivancic Šantek M., Komes D., Novak S., Šantek B. Bioethanol Production from Renewable Raw Materials and Its Separation and Purification: A Review. Food Technol. Biotechnol. 2018. Vol. 56. P. 289–311. <https://doi.org/10.17113/ftb.56.03.18.5546>.
5. Prasad S., Singh A., Joshi H. C. Ethanol as an Alternative Fuel from Agricultural, Industrial and Urban Residues. Resour. Conserv. Recycl. 2007. Vol. 50, P. 1–39.
6. ErkanIcoz et al. Review: Research on ethanol production and use from sugar beet in Turkey, Biomass and Bioenergy, 2009. Vol. 33, p. 1–7.

7. Steven Cosyn, et al. Sugar beet: A complement to sugar cane for sugar and ethanol production in tropical and subtropical areas, *International Sugar Journal*, 2011. Vol.113, p. 653–658.
8. Barlog P., et al. Sugar beet response to balanced nitrogen fertilization with phosphorus and potassium, *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, 2013. Vol.19 (№ 6) p.1311–1318.
9. Yu C., Ahmadi S., Shen S., Wu D., Xiao H., Ding T., Liu D., Ye X., Chen S. Structure and Fermentation Characteristics of Five Polysaccharides Sequentially Extracted from Sugar Beet Pulp by Different Methods. *Food Hydrocoll.* 2022. Vol. 126. P. 107–462. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107462>.
10. Lin Y., Tanaka S. Ethanol Fermentation from Biomass Resources: Current State and Prospects. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* 2006. Vol. 69, P. 627–642.
11. Bai F.W., Anderson W.A., Moo-Young M. Ethanol Fermentation Technologies from Sugar and Starch Feedstocks. *Biotechnol. Adv.* 2008. Vol. 26, P. 89–105.
12. Liang M., Damiani A., He Q. P., Wang J. Elucidating Xylose Metabolism of *Scheffersomyces stipitis* for Lignocellulosic Ethanol Production. *ACS Sustain. Chem. Eng.* 2014. Vol. 2, P. 38–48.
13. Berłowska J., Cieciora-Włoch W., Kalinowska H., Kregiel D., Borowski S., Pawlikowska E., Binczarski M., Witonska I. Enzymatic Conversion of Sugar Beet Pulp: A Comparison of Simultaneous Saccharification and Fermentation and Separate Hydrolysis and Fermentation for Lactic Acid Production. *Food Technol. Biotechnol.* 2018. Vol. 56, P. 188–196. <https://doi.org/10.17113/ftb.56.02.18.5390>.
14. Ferrari M. D., Neirotti E, Alborno C., Saucedo E. Ethanol Production from Eucalyptus Wood Hemicellulose Hydrolysate by *Pichia stipitis*. *Biotechnol. Bioeng.* 1992. Vol. 40, P. 753–759.
15. Karagoz P., Ozkan M. Ethanol Production from Wheat Straw by *Saccharomyces Cerevisiae* and *Scheffersomyces Stipitis* Co-Culture in Batch and Continuous System. *Bioresour. Technol.* 2014. Vol. 158, P. 286–293. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.02.022>
16. Ruchala J., Kurylenko O. O., Dmytruk K. V., Sibirny A. A. Construction of Advanced Producers of First- and Second-Generation Ethanol in *Saccharomyces Cerevisiae* and Selected Species of Non-Conventional Yeasts (*Scheffersomyces Stipitis*, *Ogataea Polymorpha*). *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* 2020. Vol. 47. P. 109–132. <https://doi.org/10.1007/s10295-019-02242-x>.
17. Unrean P., Khajeeram S. Model-Based Optimization of *Scheffersomyces Stipitis* and *Saccharomyces cerevisiae* Coculture for Efficient Lignocellulosic Ethanol Production. *Bioresour. Bioprocess.* 2015. Vol. 2. P. 41. <https://doi.org/10.1186/S40643-015-0069-1>
18. Sun L., Wu B., Zhang Z., Yan J., Liu P., Song C, Shabbir S., Zhu Q., Yang S., Peng N., et al. Cellulosic Ethanol Production by Consortia of *Scheffersomyces Stipitis* and Engineered *Zymomonas Mobilis*. *Biotechnol. Biofuels.* 2021. Vol. 14. P. 221. <https://doi.org/10.1186/s13068-021-02069-8>.
19. Thanapimmetha A., Vuttibunchon K., Saisriyoot M., Srinophakun P. Chemical and Microbial Hydrolysis of Sweet Sorghum Bagasse for Ethanol Production. In *Proceedings of the World Renewable Energy Congress–Sweden, Linköping, Sweden, 8–13 May 2011*; p. 389–396. https://efaidnbmnnnibpajpcglclefindmkaj/https://ep.liu.se/ecp/057/vol1/052/ecp57vol1_052.pdf.
20. Patelski A. M., Dziekonska-Kubczak U., Balcerek M., Pielech-Przybylska K., Dziugan P., Berłowska J. The ethanol production from sugar beet pulp supported by microbial hydrolysis with *Trichoderma viride*. *Energies.* 2024. Vol. 17. <https://doi.org/10.3390/en17040809>.

References

1. CEFS Statistics 2021/22. <https://cefs.org/wp-content/uploads/2023/04/European-Sugar-Statistics-Report-for-the-marketing-year-2021-22-1.pdf> 24.12.2023. (date of access 24.12 2023).
2. FAO. Sugar Beet White Sugar Agribusiness Handbook. 2009. <https://www.fao.org/3/ae377e/ae377e.pdf> (date of access 24.12 2023).
3. Bioethanol–European Biomass Industry Association. 2023. <https://www.Eubia.Org/Cms/Wiki-Biomass/Biofuels/Bioethanol/> (date of access 24.12 2023).
4. Bušić, A.; Mardetko, N.; Kundas, S.; Morzak, G.; Belskaya, H.; Ivancic Šantek, M.; Komes, D., Novak, S.; Šantek, B. (2018). Bioethanol Production from Renewable Raw Materials and Its Separation and Purification: A Review. *Food Technol. Biotechnol.* Vol. 56. P. 289–311. <https://doi.org/10.17113/ftb.56.03.18.5546>.
5. Prasad, S.; Singh, A.; Joshi, H. C. (2007). Ethanol as an Alternative Fuel from Agricultural, Industrial and Urban Residues. *Resour. Conserv. Recycl.* Vol. 50, P. 1–39.
6. Erkanlcoz et al. (2009). Review: Research on ethanol production and use from sugar beet in Turkey, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 33, p. 1–7.

7. Steven Cosyn, et al. (2011). Sugar beet: A complement to sugar cane for sugar and ethanol production in tropical and subtropical areas, *International Sugar Journal*, Vol. 113, p. 653–658.
8. Barlog, P., et al. (2013). Sugar beet response to balanced nitrogen fertilization with phosphorus and potassium, *Bulgarian Journal of Agricultural Science*, Vol. 19 (№ 6), p. 1311–1318.
9. Yu, C., Ahmadi, S., Shen, S., Wu, D., Xiao, H., Ding, T., Liu, D., Ye, X., Chen, S. (2022). Structure and Fermentation Characteristics of Five Polysaccharides Sequentially Extracted from Sugar Beet Pulp by Different Methods. *Food Hydrocoll.* Vol. 126. P. 107–462. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107462>.
10. Lin, Y., Tanaka, S. (2006). Ethanol Fermentation from Biomass Resources: Current State and Prospects. *Appl. Microbiol. Biotechnol.* Vol. 69, P. 627–642.
11. Bai, F.W., Anderson, W. A., Moo-Young, M. (2008). Ethanol Fermentation Technologies from Sugar and Starch Feedstocks. *Biotechnol. Adv.* Vol. 26, P. 89–105.
12. Liang, M., Damiani, A., He, Q. P., Wang, J. (2014). Elucidating Xylose Metabolism of *Scheffersomyces Stipitis* for Lignocellulosic Ethanol Production. *ACS Sustain. Chem. Eng.* Vol. 2, P. 38–48.
13. Berłowska, J., Cieciora-Włoch, W., Kalinowska, H., Kregiel, D., Borowski, S., Pawlikowska, E., Binczarski, M., Witonska, I. (2018). Enzymatic Conversion of Sugar Beet Pulp: A Comparison of Simultaneous Saccharification and Fermentation and Separate Hydrolysis and Fermentation for Lactic Acid Production. *Food Technol. Biotechnol.* Vol. 56, P. 188–196. <https://doi.org/10.17113/ftb.56.02.18.5390>.
14. Ferrari, M. D., Neirotti, E., Alborno, C., Saucedo, E. (1992). Ethanol Production from Eucalyptus Wood Hemicellulose Hydrolysate by *Pichia Stipitis*. *Biotechnol. Bioeng.* Vol. 40, P. 753–759.
15. Karagoz, P., Ozkan, M. (2014). Ethanol Production from Wheat Straw by *Saccharomyces Cerevisiae* and *Scheffersomyces Stipitis* Co-Culture in Batch and Continuous System. *Bioresour. Technol.* Vol. 158, P. 286–293. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.02.022>.
16. Ruchala, J., Kurylenko, O. O., Dmytruk, K. V., Sibirny, A. A. (2020). Construction of Advanced Producers of First- and Second-Generation Ethanol in *Saccharomyces Cerevisiae* and Selected Species of Non-Conventional Yeasts (*Scheffersomyces Stipitis*, *Ogataea Polymorpha*). *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* Vol. 47. P. 109–132. <https://doi.org/10.1007/s10295-019-02242-x>.
17. Unrean, P., Khajeeram, S. (2015). Model-Based Optimization of *Scheffersomyces Stipitis* and *Saccharomyces cerevisiae* Coculture for Efficient Lignocellulosic Ethanol Production. *Bioresour. Bioprocess.* Vol. 2. P. 41. <https://doi.org/10.1186/S40643-015-0069-1>.
18. Sun, L., Wu, B., Zhang, Z., Yan, J., Liu, P., Song, C., Shabbir, S., Zhu, Q., Yang, S., Peng, N., et al. (2021). Cellulosic Ethanol Production by Consortia of *Scheffersomyces Stipitis* and Engineered *Zymomonas Mobilis*. *Biotechnol. Biofuels.* Vol. 14. P. 221. <https://doi.org/10.1186/s13068-021-02069-8>.
19. Thanapimmetha, A., Vuttibunchon, K., Saisriyoot, M., Srinophakun, P. Chemical and Microbial Hydrolysis of Sweet Sorghum Bagasse for Ethanol Production. In *Proceedings of the World Renewable Energy Congress–Sweden*, Linköping, Sweden, 8–13 May 2011. p. 389–396. https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ep.liu.se/ecp/057/vol1/052/ecp57vol1_052.pdf
20. Patelski, A. M., Dziekonska-Kubczak, U., Balcerek, M., Pielech-Przybylska, K., Dziugan, P., Berłowska, J. (2024). The ethanol production from sugar beet pulp supported by microbial hydrolysis with *Trichoderma viride*. *Energies.* Vol. 17. <https://doi.org/10.3390/en17040809>.

ОТРИМАННЯ ІНКАПСУЛЬОВАНОГО КРОХМАЛЮ

Кузнєцова І. В., с.н.с., д.с.-г.н., к.т.н.,
завідувачка відділу технології цукру, цукровмісних продуктів та інгредієнтів
<https://orcid.org/0000-0001-8530-2099>

Касамара А. С., аспірантка,
науковий співробітник відділу технології цукру, цукропродуктів та інгредієнтів,
<https://orcid.org/0000-0002-3557-6021>
Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-11>

Предмет. Інкапсульований крохмаль. **Мета.** Дослідження властивостей інкапсульованого крохмалю томатного та гарбузового. **Методи.** Органолептичний, структурно-механічний, та аналітичний. **Результати.** Збагачення поживними речовинами не завжди забезпечує задані властивості харчового продукту через їх розкладання під час технологічного процесу. Це сприяло утворенню нового напрямку виробництва модифікованого крохмалю такого як інкапсульований. Процес інкапсуляції полягає в так званому «включенні» молекул біологічно активних речовин у структуру нейтрального агенту та утворенні гетерогенної матриці і формуванні мікрокапсул. Мікрокапсули на основі крохмалю можуть покращити фізико-хімічні властивості інкапсульованого матеріалу, підвищуючи його термічну стабільність і антиоксидантні властивості. Резистентний крохмаль має значення в даній технології не тільки харчові волокна але й як носій пористої структури, що добре утворює конгломерат з іншими біологічно активними сполуками. Результати досліджень показують, що за органолептичними показниками краще модифіковані крохмалі, отримані зі співвідношенням резистентний крохмаль : порошок томатний (гарбузовий) як 8:2. Такі крохмалі відповідають загальноприйнятим технологічним принципам інкапсульованого крохмалю. Визначено технологічні властивості інкапсульованого томатного та гарбузового крохмалів. Встановлено, що для обох зразків кут дійсного ухилу становить $38 \pm 0,2^\circ$, загальна пористість становить 55–62%. Високе значення коефіцієнту поглинання та ступеня набухання (0,80) інкапсульованих крохмалів досягається завдяки збільшення гідромодуля. Розрахунково показано, що інкапсульований крохмаль є достатньо калорійним продуктом, що може бути використаним для виробництва харчових виробів. Крім того, такі продукти є перспективними для харчування людей із чутливим травленням. Розроблено і затверджено Технологічну інструкцію 10.62.13-90.00.5:2023 з виробництва інкапсульованого модифікованого крохмалю. **Сфера застосування результатів.** Харчова промисловість, а саме крохмальна галузь.

Ключові слова: крохмаль, інкапсулят, адсорбент, ступінь набухання, коефіцієнт поглинання, поживна (харчова) цінність, часточки

OBTAINING MICROCAPSULATED STARCH

Inha Kuznietsova, D-r of Sc., Engineering, Senior Researcher,
Head of the Department Technology Sugar, Sugar-containing Products and Ingredients
<https://orcid.org/0000-0001-8530-2099>

Alina Kasamara, Postgraduate,
Researcher of Department Technology Sugar, Sugar-containing Products and Ingredients
<https://orcid.org/0000-0002-3557-6021>
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

Subject. Encapsulated starch. **Purpose.** To study encapsulated tomato and pumpkin starch. **Methods.** Organoleptic, structural-mechanical, and analytical. **Results.** Usually, enrichment of a food product with nutrients does not always provide the desired properties of the product due to the decomposition of such substances during the technological process. This contributed to the formation of a new direction in the production of modified starch such as encapsulated. The encapsulation process consists in the so-called “inclusion” of molecules of biologically active substances into the structure of a neutral agent and the formation of a heterogeneous matrix and the formation of microcapsules. Starch-based microcapsules can improve the physicochemical properties of the encapsulated material,

increasing its thermal stability and antioxidant properties. Resistant starch is important in this technology not only as dietary fiber but also as a good carrier of a porous structure that forms a conglomerate with other biologically active compounds. The results of the research show that the modified starches obtained with a ratio of resistant starch: tomato (pumpkin) powder as 8:2 are better in terms of perception and color. Such starches correspond to the generally accepted principles of encapsulated starch and do not have clear taste and aromatic properties. The technological properties of encapsulated tomato and pumpkin starches were determined. It established that for both samples the angle of actual inclination is $38 \pm 0,2^\circ$, the total porosity is 55–62%. The high value of the absorption coefficient and the degree of swelling (0.80) of encapsulated starches achieved due to an increase in the hydromodulus. It calculated that encapsulated starch is a sufficiently high-calorie product that used for the production of food products. In addition, such products are promising for the nutrition of people with sensitive digestion. Technological instruction 10.62.13-90.00.5:2023 for the production of encapsulated modified starch developed. **Scope of results.** Food industry, namely the starch industry.

Key words: starch, encapsulate, adsorbent, degree of swelling, absorption coefficient, nutritional (food) value, particles

Постановка проблеми. Сучасні реалії вимагають більше уваги приділити харчуванню населення, особливо споживанню речовин, що підвищують стійкість організму до певних видів захворювань. Збагачення харчових продуктів вітамінами або мінералами дозволяє запобігти дефіциту поживних речовин у раціоні людини. При цьому надають перевагу рослинній сировині, екстрактам, концентратам лікарських рослин, фруктовим і овочевим порошкам, харчовим волокнам тощо [1]. Проте, під час технологічного процесу біологічно активні речовини (БАР) можуть руйнуватися або втрачати біологічну активність. Для збереження БАР від впливу зовнішнього середовища при включенні у харчові продукти використовують природні високомолекулярні сполуки, які виконують функції мікрокапсул. До таких природних полімерів відносяться модифіковані види крохмалю, що володіють здатністю обвалювати БАР і утворювати навколо них захисний шар, або включати їх в свою структуру [1]. Використання фізичних способів модифікації є пріоритетним, оскільки дозволяє уникнути додаткового введення хімічних реагентів і утворення активних радикалів, що сприятиме застосуванню такого крохмалю у харчових продуктах для спеціального дієтичного харчування. Крохмаль модифікований фізичним способом можуть бути використані як функціональні інгредієнти для збагачення харчових продуктів.

Зазвичай збагачення харчового продукту поживними речовинами не завжди забезпечує задані властивості продукту через розкладання таких речовин під час технологічного процесу. Це сприяло утворенню нового напрямку виробництва модифікованого крохмалю такого як інкапсульований. Процес інкапсуляції полягає в так званому «включенні» молекул БАР у структуру нейтрального агенту та утворенні гетерогенної матриці і формуванні мікрокапсул. Інкапсуляція може забезпечити фізичний бар'єр між основною сполукою та іншими компонентами продукту й утворювати одношарові або двошарові з'єднання [2]. Застосування саме крохмалю або його модифікатів як природних біополімерів є недорогим, а такі властивості як водоутримуюча здатність та структуроутворення сприяє більш поширеному застосуванню мікрокапсуляції у виробництві харчових продуктів. Зокрема, такі мікрокапсуляційні структури можуть стримувати передчасне вивільнення БАР, що мають небажані органолептичні властивості для харчових продуктів, такі як кислий присмак, терпкість і гіркоту [3]. Мікрокапсули на основі крохмалю можуть покращити фізико-хімічні властивості інкапсульованого матеріалу, підвищуючи його термічну стабільність і антиоксидантні властивості, мають здатність уповільненого, безперервного та цілеспрямованого вивільнення інкапсуляту. Мікрокапсули на основі крохмалю знайшли широке застосування в різних сферах [2].

Інкапсульований крохмаль отримують шляхом інкапсулювання певних сполук в структуру крохмалю, що сприяє підвищенню його функціональних властивостей, біологічної цінності тощо. У даному випадку важливим показником є вміст поживних

речовин і їх співвідношення. Оптимальне співвідношення між білками, жирами та вуглеводами в харчових продуктах для дорослих і дітей старшого віку становить 1: 1: 4, для дітей молодшого віку – 1: 1: 3 [4, 5]. Консервуючий ефект під час сушіння досягається за рахунок зниження природної вологості та уповільнення процесів розвитку мікрофлори в сушених матеріалах. Одним із важливих показників, який характеризує технологічні властивості плодовоовочевої сировини для одержання пектино- і каротиновмісних сушених харчових продуктів, є вміст пектинових речовин та кількості каротину. Під час сушіння сировини відбувається концентрація усіх складових частин і утворюється новий продукт тривалого зберігання. Рослинні комбіновані композиції як об'єкти сушіння є складними за своєю структурою, фізико-хімічним та біохімічним складом. Вони поєднують у собі властивості овочів з багатим мінеральним та вітамінним складом та високими поживними властивостями рослинного білка. Вміст рослинного білка надає їм особливі властивості зі збереженням та кращим засвоюванням каротиноїдів [5].

β-каротин не токсичний і при зависоких дозах, незалежно від способу отримання каротиновмісного продукту чи добавки. Зазвичай, не увесь каротин перетворюється у вітамін А. Залишки каротину є сильним антиоксидантом, як і вітамін Е, захищає ліпіди жирового шару клітин людини [6]. Висока кількість каротину міститься в плодах томатів та гарбуза мускатного. Крім того, гарбуз ще відомий високим вмістом пектинових речовин, що мають значну біологічну активність і використовуються при лікуванні діабету, атеросклерозу, ішемії серця, кишково-шлункових захворювань та мають здатність виводити з організму людини важкі метали (свинець, цинк, молібден і ін.). Пектини підвищують стійкість організму до алергії, нормалізують кількість холестерину, використовуються в якості регуляторів обмінних процесів в організмі людини [7, 8].

Отже, застосування резистентного картопляного крохмалю для інкапсуляції БАР є одним з перспективних напрямів розвитку ринку модифікованого крохмалю.

Предмет – інкапсульований крохмаль.

Метою є дослідження інкапсульованого крохмалю.

Метод та методики досліджень. В якості пористого носія використовували резистентні крохмалі (РК) картопляний та кукурудзяний, отримані за розробленою нами технологією двоциклічного нагрівання [9]. В якості інкапсуляту використовували каротиновмісну сировину – сушені порошки плодів томату та гарбуза мускатного. Порошки томатний та гарбузовий, отримували сушінням нарізаних плодів томатів або гарбуза в конвективній сушарці (дослідний зразок) в Інституті технічної теплофізики НАН України. Сушені шматочки плодів подрібнювали на лабораторному млині та просіювали. Резистентний крохмаль змішували з розчином томатного або гарбузового порошку у співвідношенні як 8:1, 8:2, 8:4. Добре перемішували суміші при температурі 40°C впродовж 5 хв та висушували в конвективній сушарці. Отримані зразки подрібнювали та просіювали. Визначали органолептичні і технологічні показники [5], енергетичну цінність [6] та пористість [4] досліджуваних інкапсульованих крохмалів визначено за стандартними методиками.

Результати досліджень. Застосування резистентного картопляного або кукурудзяного крохмалю для інкапсулювання каротиноїдів як нейтрального носія дозволяє в повній мірі використати функціональний потенціал БАР. Резистентний крохмаль слугує накопичувачем БАР, щільно комплектуючи їх у власну структуру. Підбір оптимального дозування такого компоненту є одним із основних питань. Компонуючи пакет розчину модифікованого крохмалю підібрано краще дозування порошку томатного (табл. 1) та гарбузового, як джерела каротино- і пектиновмісних сполук. Органолептичні показники отриманих зразків інкапсульованих крохмалів картопляного та кукурудзяного не відрізняються між собою.

Таблиця 1

Органолептичні показники інкапсульованого крохмалю

Показник	колір		смак		аромат	
	картопля- ний	кукурудзя- ний	картопля- ний	кукурудзя- ний	картопля- ний	кукурудзя- ний
Інкапсульований гарбузовий крохмаль, отриманий співвідношенням РК:ГП як:						
8:1	світло-жовтий		Легкий майже не відчутний		Легкий майже не відчутний	
8:2	жовтий		Ніжний з легким відчутним присмаком гарбуза		Легкий майже не відчутний	
8:4	яскраво-жовтий		Властивий гарбузу чітко виражений		Інтенсивний, яскравий, властивий гарбузу	
Інкапсульований томатний крохмаль, отриманий співвідношенням РК:ТП як:						
8:1	світло-червоний		Легкий майже не відчутний		Легкий майже не відчутний	
8:2	червоний		Легкий майже не відчутний		Легкий майже не відчутний	
8:4	яскраво-червоний		Інтенсивний, солодкуватий, властивий томату		Інтенсивний, яскравий, властивий томату	

Результати показують, що за сприйняттям та забарвленням кращі модифіковані крохмалі, отримані зі співвідношенням 8:2. Такі крохмалі відповідають загальноприйнятим принципам інкапсульованого крохмалю.

Встановлення технологічної оцінки інкапсульованого крохмалю сприяє ефективному його зберіганню та ритмічній роботі переробного підприємства. Визначено технологічні показники, які представлено в таблиці 2. Насипна густина є змінною величиною, яка характеризується відношенням маси частинок до одиниці займаного ними об'єму з урахуванням об'єму пор і проміжків між частинками та залежить від: гранулометричного складу, форми частинок, способу їх виробництва і вологості. За насипною густиною оцінюють пористість, що вказує на селективність щодо утримування певних речовин, а саме: чим менші значення насипної густини, тим більшою пористістю характеризується продукт.

Таблиця 2

Показники технологічної оцінки інкапсульованого крохмалю

($p = 0,05, n=3$)

Найменування	Насипна щільність, г/см ³	Сипкість, г/с	Кут дійсного ухилу, °	Коефіцієнт поглинання	Ступінь набухання
Інкапсульований гарбузовий крохмаль	0,612	26,8	38	0,86	0,80
Інкапсульований томатний крохмаль	0,652	27,3	38	0,72	0,80

Вагомим технологічним показником є кут дійсного ухилу, який оцінює форму, розмір і когезійні властивості часток сировини. Встановлено, що для обох зразків кут дійсного ухилу становить $38 \pm 0,2^\circ$. Необхідно зазначити, що граничним значенням цього показника є кут більше 60° , за якого рослинна сировина набуває максимального насичення вологою, що призводить до унеможливлення її транспортування. Це відбувається за рахунок утворення так званих «містків» між частинками подрібнених фракцій. На поверхні розділу «вода – повітря» діють сили поверхневого натягу, які намагаються зменшити площину даної поверхні, тобто стягують «місток». Додаткова сила взаємного натягу частинок виникає внаслідок розрідження, що створюється у водному прошарку внаслідок проникнення вологи у капіляри поверхні інкапсульованого крохмалю.

Значення насипної маси фракцій залежить від щільності, пористості та вологості і впливає на коефіцієнт щільності. Визначено загальну пористість отриманих

інкапсульованих крохмалів, яка становить 55–62%. Відомо, чим менше щільність укладання тим більше пористість маси і об'єм матриці інкапсулянту. Така фракція має найгіршу ступінь поглинання через щільне стискання пор у більш вузьких місцях, що призводить до зменшення їх загального об'єму, збільшуючи тим самим «мертвий» поровий простір та значення питомого опору шару рослинної сировини. Ефективна поверхня контакту адсорбенту з вологою, відповідно, при цьому зменшується.

Високе значення коефіцієнту поглинання та ступеня набухання інкапсульованих крохмалів досягається завдяки збільшенню гідромодуля. Коефіцієнт водопоглинення для інкапсульованого гарбузового крохмалю становить 0,86, інкапсульованого томатного крохмалю – 0,72. Показник ступеня набухання дозволяє розрахувати необхідну введену кількість порошку як добавки з іншими компонентами у харчові продукти швидкого приготування.

За даними щодо вмісту білків, жирів та вуглеводів розраховали поживну цінність інкапсульованого крохмалю (табл. 3).

Таблиця 3

Поживна цінність інкапсульованого крохмалю

Склад, г	Норма *	Крох- маль куку- рудзя- ний*	Крох- маль карто- пляний *	Томат*	ІТК**		Гарбуз*	ІГК**	
					куку- рудзя- ний	кар- топля- ний		куку- рудзя- ний	кар- топля- ний
Харчова (поживна) цінність на 100 г:									
Білки	86	0,1	1,0	14,1	14,2	15,1	8,58	8,68	9,58
жири	132	-	0,6	3	3	3,6	0,56	0,56	1,16
Вугле- води	39	79,6	85,2	43,5	123,1	128,7	65,3	144,9	150,5
Харчові волокна	28	3,81	3,57	0,3	71,3	73,3	3,2	74,2	76,2
Енергетична цінність, кДж		330,81	362,57	1108	1435	1467	1272,1	1599,1	1631,1

*Детальніше: <https://ecolotos.com.ua/ua/p1335238475-tomaty-sushenye-italiya.html>

** ІТК – інкапсульований томатний крохмаль, ІГК – інкапсульований гарбузовий крохмаль

Отже, інкапсульований крохмаль є достатню калорійність. Крім того, такі продукти є перспективними для харчування людей із чутливим травленням. Розроблено і затверджено Технологічну інструкцію 10.62.13-90.00.5:2023 з виробництва інкапсульованого модифікованого крохмалю.

Висновки. Доведено, що інкапсульований крохмаль збагачують харчові продукти харчовими волокнами та біологічно цінними речовинами томату або гарбуза. За органолептичними показниками визначено, що кращим є співвідношення РК:Г(Т)П як 8:2. Вивчено технологічну характеристику отриманих модифікованих крохмалів та показано, що такі крохмалі мають загальну пористість 55-62%, кут дійсного ухилу $38 \pm 0,2^\circ$, коефіцієнт поглинання 0,76-0,82, гарну ступінь набухання 0,8. Такі продукти добре зберігаються та добре розчиняються у воді. Розраховано поживну (харчову) цінність інкапсульованого крохмалю: кукурудзяний томатний – 1435,0 кДж, картопляний томатний – 1467,0 кДж, кукурудзяний гарбузовий – 1599,1 кДж, картопляний гарбузовий – 1631,1 кДж. Розроблено і затверджено Технологічну інструкцію 10.62.13-90.00.5:2023 з виробництва інкапсульованого модифікованого крохмалю.

Бібліографія

1. Xiuli Wu, Xiangxuan Yan, Jianwen Zhang, Xuexu Wu, Qing Zhang, Bingqian Zhang Intelligent films based on dual-modified starch and microencapsulated Aronia melanocarpa anthocyanins: Functionality, stability and application. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024. Vol. 275. Part. 1, P. 134076 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134076>.
2. Di Zhao, Zhibin Li, Jiayi Xia, Yanxiang Kang, Pingli Sun, Zuobing Xiao, Yunwei Niu Research progress of starch as microencapsulated wall material. *Carbohydrate Polymers*. 2023. Vol. 318, P. 121118. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121118>.
3. Wulff D., Chan A., Liu Q., Gu F.X., Aucoin M.G. Characterizing internal cavity modulation of corn starch microcapsules. *Heliyon*. 2020. Vol. 6, № 10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05294>.
4. Гірман В. В., Мазур О. В., Євтушенко С. Л., Катасонова Н. Г. Методика виконання вимірювань визначення відкритої пористості, удаваної щільності, ефективного об'єму пор і питомої поверхні макухи олійних культур МВВ 24/13-00334882-01: [методичні рекомендації] 2013. Х.: УкрНДІОЖ НААН. 15 с.
5. Sarteshnizi A. R., Hosseini H., Khosroshahi N. K., Shahraz F., Khaneghah A. M., Kamran M., Komeili R., Chiavaro E. Frying Performance and Shelf Life of Prebiotic Sausage. *Food Technology and Biotechnology*. 2017. Vol. 55. № 4. P. 475–482. <https://doi.org/10.17113/ftb.55.04.17.5479>.
6. Махинько, В. М., Махинько Л. В. Розрахункові методики ФАО/ВООЗ для оцінювання якості харчового білка. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*. 2020. Т. 26, № 4. С. 171–177.
7. Devaraj S. et al. A dose-response study on the effects of purified lycopene supplementation on biomarkers of oxidative stress. *J. Am. Coll. Nutr.* 2008. № 27 (2). P. 267–273.
8. Галат Л. М. Плодоовочева складова у формуванні продовольчої безпеки України. *Агросвіт*. 2020. № 2. С. 89. https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.agrosvit.info/pdf/2_2020.pdf.
9. Хомічак Л. М., Кузнєцова І. В., Касамара А. С. Дослідження температурного оброблення крохмалю. *Продовольчі ресурси*. 2023. Т. 11. № 20, с. 154–161. <https://doi.org/10.31073/foodresources2023-20-15>.

References

1. Xiuli, W., Xiangxuan, Ya., Jianwen, Z., Xuexu, W., Qing, Z., Bingqian, Z. Intelligent films based on dual-modified starch and microencapsulated Aronia melanocarpa anthocyanins: Functionality, stability and application. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2024. Vol. 275. Part 1, P. 134076 <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.134076>.
2. Di, Z., Zhibin, L., Jiayi, X., Yanxiang, K., Pingli, S., Zuobing, X., Yunwei, N. Research progress of starch as microencapsulated wall material. *Carbohydrate Polymers*. 2023. Vol. 318, P. 121118. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2023.121118>.
3. Wulff, D., Chan, A., Liu, Q., Gu, F. X., Aucoin, M. G. Characterizing internal cavity modulation of corn starch microcapsules. *Heliyon*. 2020. Vol. 6, № 10. <http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e05294>.
4. Hirman, V. V., Mazur, O. V., Yevtushenko, S. L., Katasonova, N. H. Metodyka vykonannya vymyriuvan vyznachennia vidkrytoi porystosti, udavanoi shchilnosti, efektyvnoho ob'iemu por i pytomoi poverkhni makukhy oliinykh kultur MVV: metodychni rekomendatsii [Methodology for performing measurements to determine open porosity, apparent density, effective pore volume and specific surface area of oilseed cake MVV 24/13-00334882-01: methodological recommendations] 2013. Kh.: UkrNDIOZh NAAN. [Kh.: UkrNIIIOZh NAAS] 15 p. [in Ukrainian].
5. Sarteshnizi, A. R., Hosseini, H., Khosroshahi, N. K., Shahraz, F., Khaneghah, A. M., Kamran, M., Komeili, R., Chiavaro, E. (2017). Frying Performance and Shelf Life of Prebiotic Sausage. *Food Technology and Biotechnology*. Vol. 55. № 4, 475–482. <https://doi.org/10.17113/ftb.55.04.17.5479>.
6. Makhynko, V. M., Makhynko L. V. Rozrakhunkovi metodyky FAO/VOOZ dlia otsiniuvannia yakosti kharchovoho bilka. [FAO/WHO calculation methods for assessing the quality of food protein] *Naukovi pratsi Natsionalnoho universytetu kharchovykh tekhnolohii*. [Scientific papers of the National University of Food Technologies.] 2020. T. 26, № 4, 171–177. [in Ukrainian].
7. Devaraj S. et al. (2008). A dose-response study on the effects of purified lycopene supplementation on biomarkers of oxidative stress. *J. Am. Coll. Nutr.* № 27 (2), 267–273.
8. Halat, L. M. (2020). Plodoovocheva skladova u formuvanni prodovolchoi bezpeky Ukrainy. [Fruit and vegetable component in the formation of food security of Ukraine.] *Ahrosvit*. [Agrosvit.] № 2, 89. https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/http://www.agrosvit.info/pdf/2_2020.pdf. [in Ukrainian].
9. Khomichak, L. M., Kuznietsova, I. V., Kasamara A. S. (2023). Doslidzhennia temperaturnoho obrobлення krokmalu [Research of temperature treatment of starch] *Prodovolchi resursy* [Food Resources] T. 11. № 20, 154–161. <https://doi.org/10.31073/foodresources2023-20-15> [in Ukrainian].

УДК 664.6

ВПЛИВ КЛІТКОВИНИ КАРТОПЛІ НА РЕОЛОГІЧНІ ПОКАЗНИКИ ТІСТА
ТА ЯКІСТЬ СОРГОВОГО ХЛІБА НА РИСОВІЙ ЗАКВАСЦІЛанська В. Д.¹, аспірант,
кафедра ресторанних і крафтових технологій
<https://orcid.org/0009-0002-9119-7461>Гетьман І. А.², PhD, н.с.
відділу технологій хліба та біотрансформації зернових продуктів
<https://orcid.org/0000-0002-9448-9956>¹Державний торговельно-економічний університет, м. Київ, Україна²Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-12>

Предмет. Технологія безглютенового рисово-соргового хліба на заквасці з картопляною клітковиною. **Мета.** Дослідити ефективність використання картопляної клітковини як структуроутворювача рослинного походження в технології безглютенового хліба на заквасці. **Методи.** В процесі виконання досліджень було використано загальновідомі методики пробного лабораторного випікання, фізико-хімічного та органолептичного аналізу тіста та готових виробів. **Результати.** Актуальним завданням при створенні технології безглютенового хліба є не лише покращення структурно-механічних властивостей тіста та показників якості готових виробів, а й підвищення їх харчової цінності, чого можна досягти шляхом використання нетрадиційної рослинної сировини. Економічно доцільним і технологічно ефективним є використання борошна з нешліфованого рису, а з метою підвищення його харчової цінності і смакових властивостей – борошна сорго. Для забезпечення належної якості безглютенового хліба доцільним є пошук інгредієнтів зі структуроутворюючими властивостями та способу забезпечення інтенсивності бродіння в тісті. Перспективним натуральним структуроутворювачем є картопляна клітковина. Дослідження показали, що внесення картопляної клітковини в рисово-сорговий хліб на заквасці в кількості 2–3% покращує питомий об'єм та структуру пористості виробів, хліб має помірно опуклу, гладеньку глянцевою поверхню, розвинену тонкостінну пористість та меншу крихкуватість. **Сфера застосування результатів.** На основі отриманих даних буде проведено моделювання нових рецептур безглютенового хліба з внесенням картопляної клітковини та підбір рецептурних компонентів. Отримані результати можуть бути корисні виробникам для розширення асортименту безглютенової продукції, покращення харчової цінності хліба та подовження термінів збереження виробами свіжості.

Ключові слова: хліб, безглютеновий хліб, технологічний процес, картопляна клітковина, показники якості, харчова цінність, технологія

EFFECT OF POTATO FIBER ON RHEOLOGICAL PROPERTIES OF DOUGH
AND QUALITY OF SORGHUM BREAD WITH RICE SOURDOUGHVita Lanska¹, Postgraduate,
Department of Restaurant and Craft (Food) Technologies
<https://orcid.org/0009-0002-9119-7461>Inna Hetman², PhD, Junior Researcher,
Department of Bread Technologies and Biotransformation of Grain Products
<https://orcid.org/0000-0002-9448-9956>¹State University of Trade and Economics, Kyiv, Ukraine²Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

Subject. Technology of gluten-free rice-sorghum sourdough bread with potato fiber. **Purpose.** To investigate the effectiveness of the use of potato fiber as a plant-based structure-builder in the technology of gluten-free sourdough bread. **Methods.** In the process of research, well-known methods of trial laboratory baking, physico-chemical and organoleptic analysis of dough and finished products were used. **Results.** An urgent task in creating gluten-free bread technology is not only to improve the structural and mechanical properties of the dough and the quality of finished products, but also to increase their nutritional value, which can be achieved by using non-traditional plant materials. It is

*economically feasible and technologically efficient to use unpolished rice flour, and to increase its nutritional value and taste properties, sorghum flour. To ensure the proper quality of gluten-free bread, it is advisable to search for ingredients with structure-forming properties and a way to ensure the intensity of fermentation in the dough. Potato fiber is a promising natural structuring agent. Studies have shown that the introduction of potato fiber into rice and sorghum sourdough bread in the amount of 2–3% improves the specific volume and porosity structure of products, the bread has a moderately convex, smooth glossy surface, developed thin-walled porosity and less brittleness. **Scope of results.** The data obtained will be used to model new recipes for gluten-free bread with the addition of potato fiber and to select recipe components. The results obtained may be useful for manufacturers to expand the range of gluten-free products, improve the nutritional value of bread and extend the shelf life of products.*

Key words: bread, gluten-free bread, technological process, potato fiber, quality indicators, nutritional value, technology

Постановка проблеми. Статистика свідчить, що кількість потенційних споживачів безглютенових продуктів збільшується з кожним роком, що призводить до зростання попиту на якісні та безпечні безглютенові харчові продукти [1]. Безглютенові продукти в даний час є найперспективнішою категорією в хлібопекарській промисловості. Пояснюється така популярність просто: багато споживачів, які не страждають на целиакію (непереносимість глютену), віддають перевагу безглютеновій дієті, вважаючи, що це просто допомагає їм почуватися краще.

Глютеномісні продукти з пшениці та інших злакових культур є традиційною основою харчового раціону населення України, тому впровадження безглютенової дієти для людей з глютензалежними захворюваннями є доволі складним завданням в нашій країні [2]. Серед продуктів, які традиційно виготовляються із глютенмісної зернової сировини, найбільш проблематичним є виготовлення безглютенових хлібобулочних виробів, оскільки основна роль у формуванні їх показників якості, об'єму та пористості належить саме пшеничному білку – глютену, який і формує губчастий каркас виробів [3–5].

Питанню розробки технологій безглютенових хлібобулочних виробів приділяють увагу науковці та виробники багатьох країн світу. Проблема створення безглютенових хлібобулочних виробів є актуальною і в Україні [6], однак потреби населення в них забезпечуються переважно кошовною імпоротною продукцією, тому майже весь асортимент безглютенового хліба в країні представлений закордонними (польськими, італійськими, німецькими) виробниками, а саме: «Bezgluten», «Glutenex», «Dr. Schar», «Balviten», «Gluten Free Life», «Abonett», «GFL», «Gullon», «Sonko». При цьому ціни за 100 г імпортного безглютенового продукту складають від 86 грн. і вище, що виключає такий критерій продовольчої безпеки, як доступність цього виду продовольства для всіх верств населення.

Всі дослідники та споживачі відзначають, що хліб на безглютеновому борошні, як правило, має прісний смак та бліду скоринку, оскільки 60–70% всіх компонентів рецептур займає крохмалемісна сировина. Цього недоліку можна позбавитись, використовуючи додаткову складову, яка сприяє формуванню смако-ароматичного комплексу хліба [7], а саме: закваски (культурні або спонтанного бродіння), нетрадиційну рослинну сировину (шрот, борошно, фрукти, овочеві порошки тощо).

Ефективним напрямком в удосконалення технології є комбінування різних видів борошняної безглютенової сировини у заданому співвідношенні, оскільки використання саме таких безглютенових сумішей надає можливість збалансувати прісноту смаку хліба та розширити асортимент безглютенової продукції. Нами обрано рисове борошно з нешлифованого рису та соргове як джерела повноцінного білка, вітамінів, макро- та мікронутрієнтів, а також жиру з великою кількістю незамінних ненасичених жирних кислот.

Попередніми дослідженнями обґрунтовано ефективність використання закваски з рисового борошна на основі стартової культури ЛВ-1 в технології безглютенового хліба в

кількості 30-40% до маси борошняної суміші [8], а використання соргового та рисового борошна в співвідношенні 70:30 дозволяє не тільки зменшити частку крохмалевмісних інгредієнтів, незбалансованих за хімічним складом, але й забезпечити необхідні реологічні характеристики тіста [9]. Але внесення нетрадиційної сировини нерідко може погіршувати реологічні властивості тіста, що потребує коригування рецептур та внесення добавок-структуроутворювачів.

Особливу увагу зараз привертають натуральні структуроутворювачі – джерела натуральної клітковини. Окрім позитивного впливу на реологічні показники безглютенового тіста, рослинна клітковина збагачує мінеральний склад хліба та підвищує кислотність.

Картопляна клітковина – це порошкоподібна добавка світло-сірого кольору. Розмір частинок продукту менше 1 мм. За даними досліджень виробника вміст дієтичної клітковини становить 70 г/100 г. До складу клітковини входить геміцелюлоза, пектин, целюлоза і лігнін. На відміну від клітковини злакових культур, картопляна клітковина містить менше фітинової кислоти, що надає їй перевагу, оскільки при вживанні продуктів з картопляної клітковиною не погіршується засвоєння мінеральних речовин [10]. В літературних джерелах недостатньо розкрито механізм дії клітковини у нетрадиційному хлібопеченні, що дає змогу використати їх для розроблення технології безглютенового хліба.

Оскільки хліб має неабияке соціальне значення у харчуванні українців, дослідження, що спрямовані на удосконалення та розробку технологій безглютенових хлібобулочних виробів, які зможуть конкурувати з закордонними аналогами не лише за ціною політикою, а й за високими показниками якості, є актуальними та своєчасними.

Метою роботи є дослідити ефективність використання картопляної клітковини як структуроутворювача рослинного походження в технології безглютенового хліба на заквасці.

Методи дослідження. Під час проведення лабораторних досліджень та виробничих випробувань використовувалася наступна сировина: борошно рисове ТМ «Ms. Tally» (ТОВ «Каскад», Україна) згідно з ТУ У 10.6-31680679-003:2013; борошно соргове ТМ «Ms. Tally» (ТОВ «Каскад», Україна) згідно з ТУ У 10.6-31680679-003:2013; стартова культура LV1 ТМ LIVENDO (Франція) за сертифікатом іонізації 100132/01:2022; картопляна клітковина «Potex» (Швеція); дріжджі хлібопекарські пресовані Криворізького дріжджового заводу «Рекорд» за ДСТУ 4812:2007; сіль кухонна згідно з ДСТУ 3583:2015; олія соняшникова рафінована відповідно до вимог ДСТУ 4492:2005; вода питна, яка відповідає вимогам ДСТУ 7525:2014.

Тісто замішували в планетарному міксері Kenwood протягом 4–5 хв з частотою обертання місильного органу 1 с⁻¹. Тістові заготовки формували вручну та укладали у форми для випікання. Напівфабрикати піддавали бродінню в формах у вистійній шафі марки UNOX протягом 30–50 хв за відносної вологості повітря 75–80% та температури 30...32°C. Тістові заготовки випікали в пароконвекційній печі UNOX при температурі 190...200°C.

В'язко-пластичні властивості тіста та їх зміну під час вистоювання визначали за допомогою ротаційного віскозиметру «Реотест-2» за методикою [11].

Вологість напівфабрикатів та готового хліба визначали експрес-методом висушування на приладі Чижової та прискореним методом в печі СЕШ-2М за загальновідомими методиками [11].

Кислотність тіста та хліба визначали титриметричним методом за методиками [12].

Газоутримувальну та газоутворювальну здатність тіста визначали за методами, які описані в [12].

Органолептичні показники (зовнішній вигляд, колір і стан скоринки, стан м'якушки, смак, запах) оцінювали за ДСТУ 9188:2022 [11].

Результати та їх обговорення. З метою покращення харчової цінності безглютенового хліба в бік збільшення харчових волокон, макро- та мікронутрієнтів вивчали можливість збагачення його рецептури картопляною клітковиною (КК). Згідно результатів інформаційно-патентного пошуку рекомендованим є дозування КК в межах 1–4% [13].

На початковому етапі досліджень було виміряно реологічні характеристики тістових систем рисово-соргового хліба з рисовою закваскою на приладі «Реотест» з внесенням КК в кількості від 1 до 4%. Контролем слугував хліб соргово-рисовий на заквасці без КК.

Графік зміни граничного напруження зсуву та напруження на зріз від вмісту КК в тісті наведено на рис. 1.



Рис. 1. Динаміка змін граничного напруження зсуву безглютенового соргового тіста на рисовій заквасці (30%) з різним дозуванням КК

Як видно з рис. 1 характер зміни в'язкісних характеристик для всіх зразків однаковий, оскільки реологічні криві мають однакову форму, найбільш близькими між собою є дослідні зразки з КК. При збільшенні вмісту клітковини відбувається зростання в'язкості безглютенового соргового тіста з рисовою закваскою в 1,9–2,5 рази, порівняно із контролем без КК (рис. 1).

Результати досліджень реологічних показників (ефективної в'язкості та граничного напруження зсуву) залежно від вмісту КК в тісті наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Реологічні показники безглютенового соргового тіста на рисовій заквасці (30%) з різним дозуванням клітковини картоплі (КК) при швидкості зсуву $\gamma=48,6 \text{ c}^{-1}$

Показники	Дослідні зразки тіста, вміст КК в тісті (%)				
	0%	1%	2%	3%	4%
Ефективна в'язкість, Па·с	685.2±1,0	2512.3±1,0	3654.3±1,0	4339.5±1,0	5103.9±1,0
Граничне напруження зсуву, Па	333.0±1,0	1221.0±1,0	1776.0±1,0	2109.0±1,0	2480.5±1,0

* середньоарифметичні значення, n=3; p≥0,95

Отримані результати табл. 1 показали, що збільшення вмісту картопляної клітковини в тістовій системі призводить до зростання ефективної в'язкості та міцності через вищі водопоглинальну (ВПЗ) і водоутримувальну (ВУЗ) здатність харчових волокон, здійснюючи дестабілізуючий ефект на структурно-механічні властивості безглютенового

тіста. Реологічні показники зразків з КК зросли в 2,7–7,4 рази, зі збільшенням дозування КК.

За умови дозування 2–3% КК до маси борошняної суміші значного зростання в'язкості та щільності тіста не відбувається, що дозволяє забезпечити високі показники якості м'якушки готових виробів після випікання.

Наступним етапом було проведення пробного лабораторного випікання рисово-сорового хліба на заквасці з внесенням 2, 3 та 4% КК. Контролем слугував хліб рисово-соровий без КК. Результати досліджень наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Параметри технологічного процесу та перебіг біохімічних, мікробіологічних процесів в тісті з додаванням КК

Показник*	Контроль (рисово-соровий хліб без КК)	Дослідні зразки – з додаванням КК, % до маси борошняної суміші		
		2%	3%	4%
Масова частка вологи, %	56.2±0,2	56.4±0,2	56.8±0,2	57.4±0,2
Кислотність тіста, град				
<i>початкова</i>	3.0±0,2	3.2±0,2	3.2±0,2	3.4±0,2
<i>кінцева</i>	4.2±0,2	4.2±0,2	4.4±0,2	4.6±0,2
Тривалість вистоювання, хв	45±1	45±1	43±1	47±1
Газоутворення за період бродіння, см ³ /100 г	340±5	344±5	348±5	335±5
Питомий об'єм тіста вкінці бродіння, см ³ /г	178±5	180±5	185±5	176±5

* середньоарифметичні значення, n=3; p≥0,95

Згідно даних табл. 2 в зразках з додаванням 3–4% картопляної клітковини підвищується початкова кислотність тіста на 0.2–0.4 град, кислотонакопичення за період бродіння не інтенсифікується.

Досліджували вплив заквасок на виділення CO₂ та газоутримувальну здатність тіста з додаванням 2–4% КК.

Так, порівняно з контролем, за умови внесення 2–3% КК тривалість вистоювання дещо скорочується, але при внесенні 4% погіршується на 4,4%. Експериментально встановлено, що кількість виділеного CO₂ зростає зі збільшенням дозування КК до 3% на 2,4%, але далі знижується до 335 см³ CO₂/100 г тіста проти 340 см³ CO₂/100 г тіста в контролі (табл. 2).

Відмічено також підвищення газоутримувальної здатності модельних зразків тіста на 4% при дозуванні 2–3% КК. Отримані дані узгоджуються із результатами щодо відповідного покращення реологічних характеристик зразків тіста із клітковиною, що ймовірно, є наслідком збільшення вологозв'язуючої здатності тіста через підвищення вмісту харчових волокон.

Таку тенденцію можна пояснити покращенням живильного середовища за рахунок внесення із шротами харчових волокон, вітамінів, але при подальшому підвищенні в'язкості тіста з КК активність бродильної мікрофлори знижується.

Було досліджено органолептичні та фізико-хімічні показники якості хліба з КК, результати досліджень наведено в табл. 3.

А збільшення кількості КК до 4% КК призводить до зниження питомого об'єму готового хліба на 10,5%, пористості – на 3,2%. Ці дані узгоджуються з визначенням

в'язко-пластичних характеристик тіста, які також покращуються за умови внесення 2–3% КК.

Таблиця 3

Вплив клітковини картоплі на показники якості безглютенового соргового хліба з додаванням КК

Показник*	Контроль (рисово-сорговий хліб без КК)	Дослідні зразки – з додаванням КК,% до маси борошняної суміші		
		2%	3%	4%
Питомий об'єм, см ³ /100 г	1,9±0,2	2,0±0,2	2,1±0,2	1,7±0,2
Пористість,%	63±1	65±1	66±1	61±1
Масова частка вологи,%	55,6±0,2	55,8±0,2	56,4±0,2	57,0±0,2
Кислотність, град	3,6±0,2	3,4±0,2	3,8±0,2	3,8±0,2
Крихкуватість м'якушки через 24 год.	5,4±0,5	5,4±0,5	5,2±0,5	50±0,5
Водопоглинальна здатність м'якушки через 24 год	254±0,5	242±0,5	228±0,5	214±0,5
Стан м'якушки, структура пористості, розжовуваність	Еластична м'якушка. пористість середня. тонкостінна, розвинена, рівномірна. розжовується добре	Еластична м'якушка. пористість середня. товстостінна, менш розвинена, нерівномірна. розжовується добре	Еластична м'якушка. пористість дрібна, тонкостінна, розвинена, рівномірна. розжовується добре	Менш еластична м'якушка. пористість крупна. товстостінна, розвинена, нерівномірна. розжовується добре
Смак та запах	Яскраво виражений присмак. аромат притаманний хлібу	Яскраво виражений присмак та хлібний аромат	Яскраво виражений присмак та хлібний аромат	Яскраво виражений присмак та аромат, з дещо «гіркватим» присмаком
Правильність форми, зовнішній вигляд скоринки	Опукла верхня скоринка, від світло- коричневого до коричневого кольору, гладенька, глянцева поверхня	Помітно опукла поверхня верхньої скоринки, від світло- коричневого до коричневого кольору, гладенька, глянцева поверхня	Помітно опукла поверхня верхньої скоринки, від світло- коричневого до коричневого кольору, гладенька, глянцева поверхня	Плоска поверхня верхньої скоринки, дещо увігнута, від світло- коричневого до коричневого кольору, поверхня дещо шорстка

* середньоарифметичні значення, n=3; p≥0,95

Щодо органолептичних показників, то за умови внесення 4% КК спостерігається утворення менш еластичної м'якушки з нерівномірною товстостінною пористістю за рахунок високих водоутримувальної та водопоглинальної здатності КК. В хлібі відчувався дещо «гіркий» присмак, на колір скоринки та м'якушки помітного впливу не відбулось. При внесенні 2–3% КК хліб несуттєво відрізнявся від контрольного зразку.

В зразках з КК спостерігалось зниження крихкуватості м'якушки та поглинання води, що означає подовження термінів збереження свіжості виробів.

Висновки. У результаті аналітичного огляду літератури виявлено, що серед населення України зростає кількість людей з глютензалежними захворюваннями, разом з тим їх потреба в безглютенових хлібобулочних виробах забезпечується лише

закордонними виробниками. Тому, актуальною проблемою є розроблення вітчизняних технологій безглютенового хліба та забезпечення його високої поживної якості.

Світова наука і практика для виготовлення безглютенового хліба та створення його структури надає великого значення використанню різних видів структуроутворювачів, а саме гідроколоїдів. Перспективним поліпшувачем поліфункціональної дії є картопляна клітковина, а відсутність досліджень щодо особливостей її дії в тістовій системі без внесенням глютену сировини доводить актуальність теми.

Розробка безглютенового хліба з внесенням соргового та рисового борошна замість крохмалю потребує додаткового коригування рецептури в бік покращення реологічних властивостей тіста та хліба за рахунок добавок-структуроутворювачів.

Дослідження показали, що внесення КК в рисово-сорговий хліб на заквасці в кількості до 3% покращує об'єм та пористість виробів, хліб має помірно опуклу, гладеньку поверхню, відмінний смак та аромат, розвинену дрібну тонкоцінну пористість. Крім того, вироби довше зберігають свіжість, за рахунок технологічних властивостей КК.

Бібліографія

1. Sergi C, Villanacci V, Carroccio, A. Non-celiac wheat sensitivity: rationality and irrationality of a gluten-free diet in individuals affected with non-celiac disease: a review. *BMC Gastroenterol.* 2021. 21 (1). 5. <https://doi.org/10.1186/s12876-020-01568-6>.
2. Медвідь І. М., Шидловська О. Б., Доценко В. Ф., Федоренко Ю. О. Вплив борошняних безглютенових композицій на якість хлібобулочних виробів для хворих на целиацію. *Ресторанний і готельний консалтинг. Інновації.* 2021. 1. С. 122–136.
3. Наумова О. О., Донцова О. В., Аграмакова Н. В. Перспективи підвищення відповідальності вітчизняних виробників харчової продукції без глютену з використанням Європейської системи ліцензування. *Бізнесінформ.* 2017. 12. С.325–330.
4. Silva E. M. Schons, Clark A. E. Peres, Silva A. C., Carolina Di Medeiros L M., Moraes Lião L., de Almeida V. O. Sorghum starch as depressant in mineral flotation: part 1 – extraction and characterization. *Journal of materials research and technology.* 2019. 8, 1. С. 396–402. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.04.001>.
5. Jagelaviciute J., Cizeikiene D. The influence of non-traditional sourdough made with quinoa, hemp and chia flour on the characteristics of gluten-free maize/rice bread. 2021. *LWT.* 137, 110457. <https://doi.org/10/ghzf8q>.
6. Zannini E., Pontonio E., Waters D. M., Arendt E. K. Applications of microbial fermentations for production of gluten-free products and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology.* 2012. 93,2. 473–485. <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3707-3>.
7. Шевчук Ю. С., Якимчук І. В., Грищенко А. М. Використання картопляної дієтичної харчової клітковини в хлібопеченні. Програма і матеріали 78-ї міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішення проблем харчування людства у XXI ст.», 2–3 квітня 2012 р. К.: НУХТ, Ч.1. 2012. 79–80.
8. Mykhonik L., Hetman I., Naumenko O. Effect of structure-forming agents and spontaneously fermented buckwheat sourdough on the quality of gluten-free bread. *Food science and technology.* 2022. 16, 2. 32–39. <https://doi.org/10.15673/fst.v16i2.2373>
9. Salehi F. Improvement of gluten-free bread and cake properties using natural hydrocolloids: a review. *Food Science & Nutrition.* 2019. 7, 11, 3391–3402. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1245>.
10. Mir S. A., Shah M. A., Naik H. R., Zargar I. A. Influence of hydrocolloids on dough handling and technological properties of gluten-free breads. *Trends in Food Science & Technology.* 2016. 51. 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.005>.
11. Дробот В. І. Технохімічний контроль сировини та хлібобулочних і макаронних виробів: навчальний посібник. Київ: Кондор-Видавництво, 2015. 958 с.
12. Дробот В. І. Лабораторний практикум з технології хлібопекарського і макаронного виробництва. Навчальний посібник. Київ: Центр навчальної літератури, 2006. 341 с
13. Федорова Д., Ланська В. Якість безглютенового хліба на заквасці зі стартовою культурою LV-1. *Товари і ринки.* 2024. 3 (51). 104–120. [https://doi.org/10.31617/2.2024\(51\)08](https://doi.org/10.31617/2.2024(51)08).
14. Федорова Д. В., Слащева А. В., Ланська В. Д. Технологічні аспекти виробництва безглютенового хліба на заквасках. *Sustainable food chain and safety through science, knowledge and*

business: Scientific monograph. Riga, Latvia: «Baltija Publishing», 2023. 247–289. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-328-6-12>.

References

1. Sergi, C., Villanacci, V., Carroccio, A. (2021). Non-celiac wheat sensitivity: rationality and irrationality of a gluten-free diet in individuals affected with non-celiac disease: a review. *BMC Gastroenterol.* 21 (1). 5. <https://doi.org/10.1186/s12876-020-01568-6>.
2. Medvid, I. M., Shydlovska, O. B., Dotsenko, V. F., Fedorenko, Yu. O. (2021). Vplyv boroshnianykh bezghliutenovykh kompozytsii na yakist khlibobulochnykh vyrobiv dlia khvorykh na tseliakiiu [The effect of gluten-free flour compositions on the quality of bakery products for patients with celiac disease]. *Restorannyi i hotelnyi konsal'tynh. Innovatsii.* [Restaurant and hotel consulting. innovations]. 1. 122–136. [in Ukrainian].
3. Naumova, O. O., Dontsova, O. V., Ahramakova, N. V. (2017). Perspektyvy pidvyshchennia vidpovidalnosti vitchyznianskykh vyrobnykiv kharchovoi produktsii bez hliutenu z vykorystanniam Yevropeiskoi systemy litsenzuvannia.[Prospects for increasing the responsibility of domestic manufacturers of gluten-free food products using the European licensing system. business information]. *Biznesinform.* [Business information]. 12. 325–330. [in Ukrainian].
4. Silva E. M. Schons, Clark A. E. Peres, Silva A. C., Carolina Di Medeiros L M., Moraes Lião L., de Almeida V. O. (2019). Sorghum starch as depressant in mineral flotation: part 1–extraction and characterization. *Journal of materials research and technology.* 8, 1. 396–402. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2018.04.001>.
5. Jagelaviciute, J., Cizeikiene, D. (2021). The influence of non-traditional sourdough made with quinoa, hemp and chia flour on the characteristics of gluten-free maize/rice bread. *LWT.* 137. 110457. <https://doi.org/10/ghzf8q>.
6. Zannini, E., Pontonio, E., Waters, D. M., Arendt, E. K. (2012). Applications of microbial fermentations for production of gluten-free products and perspectives. *Applied Microbiology and Biotechnology.* 93, 2. 473–485. <https://doi.org/10.1007/s00253-011-3707-3>.
7. Shevchuk, Yu. S., Yakymchuk, I. V., Hryshchenko, A. M. (2012). Vykorystannia kartoplianoi diietychnoi kharchovoi klitkovyny v khlibopechenni. [Use of potato dietary fiber in bread baking]. *Prohrama i materialy 78-yi mizhnarodna naukova konferentsiia molodykh uchenykh, aspirantiv i studentiv «Naukovi здобутky molodi – vyrishennia problem kharchuvannia liudstva u XXI st.»*, 2–3 kvitnia 2012 r. [Program and materials of the 78th international scientific conference of young scientists, graduate students and students «Scientific achievements of youth – solving the problems of human nutrition in the XXI century», April 2–3, 2012]. K.: NUKhT. 1. P. 79–80. [in Ukrainian].
8. Mykhonik, L., Hetman, I., Naumenko, O. (2022). Effect of structure-forming agents and spontaneously fermented buckwheat sourdough on the quality of gluten-free bread. *Food science and technology*, 16, 2, 32–39. <https://doi.org/10.15673/fst.v16i2.2373>.
9. Salehi, F. (2019). Improvement of gluten-free bread and cake properties using natural hydrocolloids: a review. *Food Science & Nutrition.* 7, 11. 3391–3402. <https://doi.org/10.1002/fsn3.1245>.
10. Mir, S. A., Shah, M. A., Naik, H. R., Zargar, I. A. (2016). Influence of hydrocolloids on dough handling and technological properties of gluten-free breads. *Trends in Food Science & Technology.* 51. 49–57. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2016.03.005>.
11. Drobot, V. I. (2015). Tekhnokhimichniy kontrol syrovyny ta khlibobulochnykh i makaronnykh vyrobiv: navchalnyi posibnyk. [Technochemical control of raw materials and bakery and pasta products: study guide]. Kyiv: Kondor-Vydavnytstvo, 958 p. [in Ukrainian].
12. Drobot, V. I. (2006). Laboratornyi praktykum z tekhnolohii khlibopekarskoho i makaronnoho vyrobnytstva. Navchalnyi posibnyk.[Laboratory workshop on the technology of bakery and pasta production. Study guide]. Kyiv: Tsent'r navchalnoi literatury, 341 p. [in Ukrainian].
13. Fedorova, D., Lanska, V. (2024). Yakist bezghliutenovoho khliba na zakvastsii zi startovoiu kulturoiu LV-1. [Quality of gluten-free sourdough bread with starter culture LV-1.]. *Tovary i rynky*, [Goods and markets]. 3 (51). 104–120. [https://doi.org/10.31617/2.2024\(51\)08](https://doi.org/10.31617/2.2024(51)08). [in Ukrainian].
14. Fedorova, D. V., Slashcheva, A. V., Lanska, V. D. (2023). Tekhnolohichni aspekty vyrobnytstva bezghliutenovoho khliba na zakvaskakh. [Technological aspects of gluten-free sourdough bread production]. *Sustainable food chain and safety through science, knowledge and business: Scientific monograph.* Riga, Latvia: «Baltija Publishing», 247–289. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-328-6-12> [in Ukrainian].

УДК 553.9:663.6

АСЕПТИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПРИРОДНИХ МІНЕРАЛІВ

Мельник Н. А., к.т.н., доцент
<https://orcid.org/0000-0002-1611-0285>

Мельник Л. М., д.т.н., професор
<https://orcid.org/0000-0002-2346-564X>

Ткачук Ю. В., викладач
<https://orcid.org/0009-0001-5177-9611>

Якименко А. В., аспірант
<https://orcid.org/0009-0004-0889-726X>

Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-13>

Предмет. Загострення проблеми підвищення якості питної води потребує пошуку ефективних способів її очищення. Ефективним напрямком удосконалення процесу очищення питної води є використання природних дисперсних мінералів українських родовищ, які мають низьку собівартість, високі адсорбційні властивості, легко піддаються регенерації, модифікації, утилізації. **Мета.** Дослідити використання природних адсорбентів палигорськіту, глауконіту, морденіту для очищення води для пиття від бактерій та встановити екологічну безпечність використання палигорськіту для очищення води для пиття. **Методи.** Використано метод термоактивації адсорбентів, метод мікробіологічного дослідження (посів на стандартне середовище), метод температурно-програмованої десорбційної маспектрометрії. **Результати.** Представлені структурні відмінності в будові досліджуваних мінералів, з метою встановлення найефективнішого поглинача бактерій, що накопичується у воді для питного споживання і спричиняє небезпеку для здоров'я населення. Обґрунтовано вміст адсорбентів у воді для поглинання бактерій і рекомендовано оптимальну концентрацію досліджуваних мінералів в кількості 3,3% мас. Найефективнішим поглиначем бактерій із води виявився палигорськіт. Отримано максимуми десорбції фрагментів молекул різних мас в низько (100-180°C) та високотемпературних (250-450°C) зонах. Наукова новизна результатів. Наведено результати сорбції бактерій досліджуваними адсорбентами і дано можливе пояснення активності адсорбційної поверхні палигорськіта і глауконіта, які здатні утворювати водневі зв'язки з бактеріями за рахунок сил Ван-дер-Ваальса-Лондона. **Сфера застосування результатів.** На основі проведених лабораторних і промислових досліджень розроблено ТУ У15.9-31931145-002:2008 Вода питна "Благодатна". Технічні умови.

Ключові слова: питна вода, природні дисперсні мінерали, мікробне число, палигорськіт, глауконіт, морденіт

ASEPTIC PROPERTIES OF NATURAL MINERALS

Nataliia Melnyk, PhD, Docent
<https://orcid.org/0000-0002-1611-0285>

Liudmila Melnyk, D-r of Sc., Professor
<https://orcid.org/0000-0002-2346-564X>

Yuliia Tkachuk, Lecturer
<https://orcid.org/0009-0001-5177-9611>

Andrii Yakymenko, Postgraduate
<https://orcid.org/0009-0004-0889-726X>

National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Subject. Aggravation of the problem of improving the drinking water quality prompts a search for effective methods of its purification. An effective way to improve the drinking water purification process is to use natural dispersed minerals from Ukrainian deposits, which have low cost, high adsorption properties, and are easily regenerated, modified, and recycled. **Purpose.** To study the use of natural adsorbents palygorskite, glauconite, and mordenite for purifying drinking water from bacteria and to determine environmental safety of using palygorskite for drinking water purification. **Methods.** The method of thermal activation of adsorbents, the method of microbiological research (seeding on a

standard medium) and method of temperature-programmed desorption mass spectrometry have been used. **Results.** The article presents structural differences in composition of the studied minerals, with the aim of establishing the most effective adsorbent of bacteria that accumulate in drinking water and present a threat to public health. The article substantiates the content of adsorbents in drinking water for the adsorption of bacteria and recommends the optimal concentration of the studied minerals in the amount of 3.3 wt%. It has turned out that palygorskite is the most effective adsorbent of bacteria from water. Desorption maxima of molecular fragments of different masses in low (100-1800°C) and high-temperature (250-4500°C) zones have been established. Scientific novelty of results of research. The results of the sorption of bacteria by the studied adsorbents has been described and activity of the adsorption surface of palygorskite and glauconite, which are able to form hydrogen bonds with bacteria due to Van der Waals-London forces, has been explained. **Scope of results.** On the basis of the conducted laboratory and industrial research Technical standard TS U15.9-31931145-002:2008 "Blahodatna" drinking water has been developed.

Key words: drinking water, natural disperse minerals, microbial count, palygorskite, glauconite, mordenite

Постановка проблеми. В умовах прискореного розвитку багатьох галузей народного господарства раціональне використання водних ресурсів та розробка способів очищення води стає надзвичайно важливою технологічною і екологічною задачами. Чиста вода стала найдефіцитнішим продуктом.

Сильне забруднення рік і озер сполуками ртуті, хрому, міді, цинку, заліза, небезпечними для здоров'я, які потрапляють у водойми із промисловими стоками, мінеральними добривами і пестицидами, господарсько-фекальними стоками суттєво знижують якість водних середовищ, що робить воду не придатною для використання як для населення, так і для тваринного та рослинного світу.

Загострення проблеми підвищення якості питної води потребує пошуку ефективних способів її очищення.

Ефективним напрямком удосконалення процесу очищення питної води є використання природних дисперсних мінералів, які мають низьку собівартість, високі адсорбційні властивості, легко піддаються регенерації, модифікації, утилізації [1].

Українські родовища мають великі запаси природних дисперсних сорбентів (цеолітів та глинистих мінералів). Так, на сьогоднішній день в Україні понад 100 родовищ глинистих мінералів різних генетичних типів сумарним запасом понад 100 млн. тонн. Це Горбське, Пижевське, Бережанське і Курцевське родовища. Черкаське родовище є одним із найбільших не тільки на території України, а й в усьому світі. Виходячи з цього, актуальним для розвитку харчової промисловості України є проведення комплексу теоретичних та експериментальних досліджень з метою удосконалення процесу адсорбційного очищення води для пиття природними дисперсними мінералами та наукового обґрунтування механізмів поглинання шкідливих домішок. При виборі конкретного виду сорбенту для очищення вод від забрудників слід надавати перевагу сорбентам із доступними обмінними іонами або сорбентам із розвинутим поровим простором, шаровою чи шарувато-стрічковою структурою [2].

Як показують дослідження, в залежності від їх конкретних характеристик природні дисперсні мінерали можуть застосовуватися для видалення з води різних видів забрудників. Так, завдяки механізму іонного обміну цеоліти добре адсорбують важкі метали, наприклад, мідь [3, 4], свинець, кадмій та цинк [5, 6]. Водночас, палигорскіт показує один з найкращих результатів при адсорбуванні відпрацьованих медичних препаратів [7, 8] та бактерій [9, 10].

Висока адсорбційна спроможність глинистих мінералів, їх широке застосування в багатьох галузях народного господарства, налагоджене добування в Україні і низька собівартість спонукали авторів дослідити ефективність використання природних адсорбентів для очищення питної води від бактерій (оскільки гігієнічні вимоги, що визначають придатність питної води для вживання, включають також безпеку в

епідеміологічному відношенні, яка визначається показниками наявності в ній небезпечних для здоров'я бактерій).

Глинисті мінерали складають групу шаруватих і шарувато-стрічкових силікатів, кристаліти яких мають чітко окреслену тривимірну будову з розмірами 1–10 мкм.

Відстані між атомами кисню у шарах кремнекисневих тетраедрів дорівнюють приблизно 0,255 нм, а товщина цих шарів – приблизно 0,493 нм. У більшості випадків вершини тетраедрів у шарах звернені в один бік, а основи лежать в одній площині. Склад шару кремнекисневих тетраедрів передається елементом (Si_2O_5). Характерною особливістю цих мінералів є те, що в їх структурі завжди є гідроксил OH , катіони Al^{3+} , Mg^{2+} , Fe^{3+} та інших металів, що знаходяться в міжшаровому просторі і зв'язані з вершинами тетраедрів. Кожний з атомів металу зв'язаний шістьма атомами гідроксилу або кисню, що знаходяться на однаковій відстані від нього. Товщина цієї структурної одиниці дорівнює 0,5 нм.

У деяких мінералах тетраедри SiO_2 частково замінені на Al_2O_3 . Відсутній заряд компенсують катіони K^+ , Na^+ , Ca^{2+} , молекули води, які в ролі зв'язуючих елементів розташовані між шарами, що складаються з кремнекисневих стрічок та іонів, зв'язаних безпосередньо з ними. Відмінність взаємовідношень кремнекисневих стрічок, перелік пов'язаних з ними катіонів і характер заміщень окремих атомів у структурі природних мінералів створюють різноманітність їх властивостей.

Особливості структурної будови шаруватих мінералів визначають їх фізичні властивості і вид кристалів. Внаслідок наявності плоских сіток, вони мають, переважно, гексагональну симетрію, а шарувата будова обумовлює розщеплення їх на тонкі стрічки. Деякі глинисті мінерали мають волокнисту будову і за своїми структурними характеристиками нагадують амфіболи.

Для порівняння автори також вирішили дослідити ефективність використання цеоліту – морденіту для очищення питної води від бактерій, хоча розуміли, що оскільки морденіт має меншу кількість активних центрів на своїй поверхні, ніж глини, то його поглинальна спроможність буде меншою.

Мета. На основі комплексних теоретичних і експериментальних досліджень процесу адсорбційного очищення води для пиття глинистими мінералами науково обґрунтувати механізм адсорбції шкідливих домішок, що погіршують її якість, підібрати та дослідити найбільш ефективні природні адсорбенти серед низки доступних та дешевих адсорбентів, що розробляються в Україні для очищення питної води. Обґрунтувати екологічну безпеку застосування природних адсорбентів при очищенні води для пиття.

Матеріали та методи. Спочатку проводили підготовку адсорбентів (дисперсністю – 3 мм) шляхом термоактивації. Термоактивацію адсорбентів здійснювали в електрошафі СЕШ-1 при різних температурах. Попередньо зважені палигорськіт, глауконіт сушили при температурі 180°C протягом 3 год. Морденіт піддавали висушуванню при $t=250^\circ\text{C}$ протягом 4–5 год. Висушені бокси з наважками адсорбентів витримували в ексикаторі протягом 20 хв, а потім заповнювали ними адсорбери.

Після цього для дослідження бактерицидної дії природних дисперсних мінералів палигорськіту, глауконіту та морденіту брали воду із свердловини і вносили в неї попередньо термоактивовані мінерали при концентраціях 10; 5; 3,3; 2,5% мас., суміш витримували 60 хв. при постійному перемішуванні, потім фільтрували. Вміст бактерій визначали за наступною методикою.

Санітарно-бактеріологічна оцінка якості питної води базується на визначенні мікробного числа методом посіву на стандартне середовище – м'ясо-пептонний агар (МПА), який готують на м'ясному бульйоні, додаючи на 1л бульйону 10г пептону і 5 г NaCl . Утворюється густий гель МПА, прийнятий як стандартне середовище тому, що його склад відповідає умовам розвитку більшості сапрофітів. Інкубація посіву витримується при $t=37^\circ\text{C}$ протягом 24 год. Мікробне число виражають числом клітин в 1 мл води.

Згідно Державних санітарних правил і норм “Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води централізованого господарсько-питного водопостачання” колоній утворюючі одиниці (КУО)/см³ – не більше 100.

Крім того, для перевірки можливості вилучення компонентів зі складу природних мінералів у воду та утворення шкідливих речовин, що можуть додатково забруднювати питну воду при її контакті з адсорбентами, були проведені масспектрометричні дослідження адсорбентів до та після очищення води. Для цього досліджували зразки палигорськіту, глауконіту та морденіту піддавали дії температури, що змінювалася за певною програмою. Швидкість зростання температури обиралась достатньо повільною, щоб уникнути температурних градієнтів у зразках. В системі встановлювалась рівновага. Швидкість зміни температури складала 10°/хв. або менше. Леткі продукти термічного розкладу та термічної десорбції, що виділялись із зразків під дією температури, реєструвались та досліджувались за допомогою масспектрометра. Така схема експерименту дозволяла, надійно ідентифікувати леткі продукти і відстежити кінетику неізотермічного розкладу поверхневих комплексів у зразках. Параметри обладнання, встановлені в наших тестових експериментах такі: діапазон мас – 1 – 400 Дальтон, розділення мас до 10% інтенсивності 1/м, чутливість – 10⁻⁸ г; швидкість зміни температури знаходилась в діапазоні від 0,5 до 30°/хв. Середній час масспектрометричного дослідження одного зразка – біля двох годин.

Результати та їх обговорення. Отримані результати мікробіологічних досліджень води подані на рисунку 1.



Рис. 1. Вміст бактерій в 1 см³ води, очищеної палигорськітом, глауконітом, морденітом (КУО/см³)

КУО/см³, очищеної глауконітом складав 30 КУО/см³, очищеної морденітом – 42 КУО/см³ (для порівняння початковий вміст бактерій в неочищеній воді складав 300 КУО/см³, а нормований вміст бактерій у воді повинен бути не більше 100 КУО/см³).

Вміст адсорбента у воді 2,5% мас. не може бути використаний для поглинання бактерій, оскільки не досягаються вимоги стандарту. Кількість адсорбента у воді 10, 5 та 3,3% мас. є найбільш ефективною для палигорськіта, глауконіта та морденіта. Враховуючи незначні відмінності між водою, очищеною від бактерій палигорськітом, глауконітом і морденітом у кількості 10; 5; 3,3% мас. доцільно рекомендувати для очищення води від мікроорганізмів концентрацію адсорбентів 3,3% мас.

На думку авторів, активність адсорбційної поверхні палигорськіта і глауконіта щодо бактерій можна пояснити наявністю на ній гідроксильних груп, які здатні утворювати водневі зв'язки з бактеріями за рахунок сил Ван – дер – Ваальса –Лондона, водневих зв'язків адсорбента з карбоксильними групами поверхні клітин.

Аналіз рис. 1 дає можливість зробити наступні висновки: із трьох досліджених природних мінералів найвищу адсорбційну спроможність щодо бактерій, присутніх у питній воді, має палигорськіт, потім глауконіт і найнижчу – морденіт. Так, вміст бактерій у 1 см³ води, очищеної палигорськітом, складав 20

Оскільки було встановлено, що палигорськіт має найвищу адсорбційну спроможність щодо бактерій, то на рис. 2 та рис. 3 цієї статті також наводяться отримані характерні термомаспектрограми палигорськіта до та після очищення води.

Як видно із рис. 2, 3 термомаспектрограми палигорськіта демонструють чіткі піки масзаряджених фрагментів молекул, що видаляються з поверхні адсорбента у процесі термопрограмованої десорбції. Кожному піку відповідає залишок певної сполуки визначеної молекулярної маси. По співвідношенню цих піків можна наближено стверджувати, яких залишків більше, а яких – менше.

Можна бачити, що максимуми десорбції фрагментів молекул різних мас спостерігаються в низько (100–180°C) та високотемпературних зонах (250–450°C).

Низькотемпературні адсорбційні максимуми пов'язані з видаленням адсорбційно-зв'язаної води та розчинених в ній вуглеводнів ($m/z=16, 17, 28$) з поверхневого шару палигорськіту.

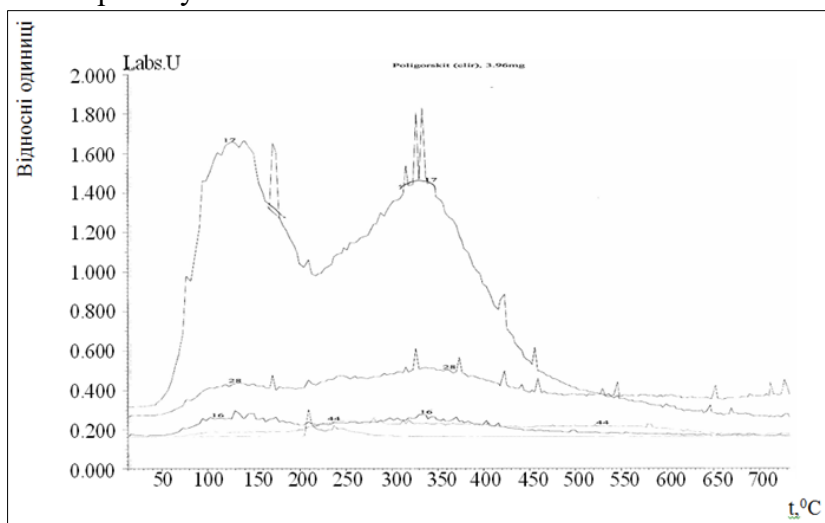


Рис. 2. Термомаспектрограма палигорськіта до адсорбції домішок із води, взятої із свердловини

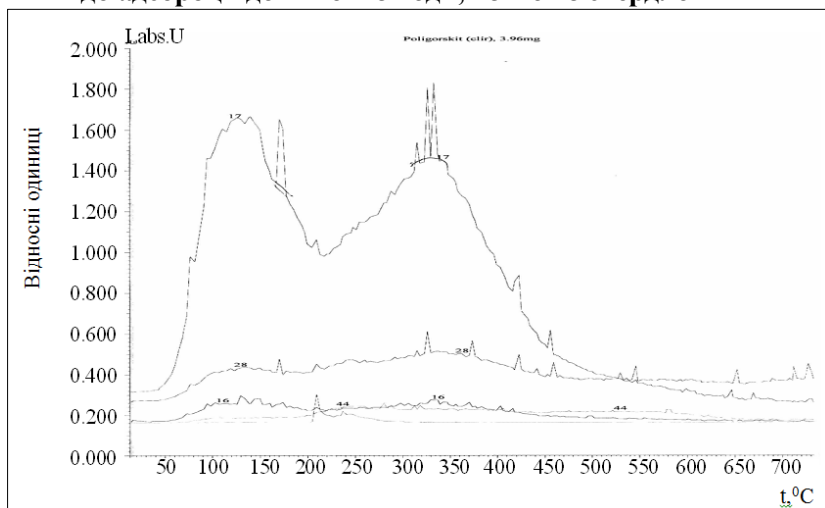


Рис. 3. Термомаспектрограма палигорськіта після адсорбційного очищення води, взятої із свердловини
 фазі його молекули утворюють міцні водневі зв'язки з молекулами води і адсорбуються в порах адсорбенту. Можна припустити, що молекули CO_2 утворюють різні за міцністю зв'язки з поверхневими активними центрами і видаляються з поверхні мінералів, як і молекули води, в декілька стадій у низько та у високо температурних зонах.

Видалення фрагментів молекул у високотемпературній області зумовлюється руйнуванням гідроксильного покриття мінералів, а також, міцно зв'язаної в тонких порах води та деяких залишків вуглеводнів. Можна стверджувати, молекулярні фрагменти з $m/z=17$ відносяться до гідроксильних груп. Смуга з $m/z=16$ відноситься до позитивно зарядженого атому кисню, який з'являється внаслідок іонізації молекул води та груп OH- опромінюючими електронами.

Молекулярні фрагменти з $m/z=28$ та $m/z=44$, ймовірно, відносяться до заряджених фрагментів молекул CO та CO_2 . Присутність молекул вуглекислого газу в десорбованій фазі палигорськіта не викликає сумнівів, оскільки цей газ є складовою атмосферного повітря, а в конденсованій

Водночас, результати дослідження показують, що піки фрагментів молекул органічних речовин у десорбованій фазі термомаспектрограм палигорськіта відсутні, що певним чином свідчить про екологічну безпеку цього природного дисперсного мінералу.

Висновки. Із трьох досліджених природних мінералів найвищу адсорбційну спроможність щодо бактерій, присутніх у питній воді, має палигорськіт, потім глауконіт і найнижчу – морденіт. Активність адсорбційної поверхні палигорськіта і глауконіта щодо бактерій можна пояснити наявністю на ній гідроксильних груп, які здатні утворювати водневі зв'язки з бактеріями за рахунок сил Ван – дер – Ваальса –Лондона, водневих зв'язків адсорбента з карбоксильними групами поверхні клітин.

Для очищення води від мікроорганізмів слід використовувати палигорськіт у кількості 3.3% мас.

Адсорбовані природними адсорбентами бактерії видаляються разом з осадам.

На основі проведених лабораторних і промислових досліджень розроблено ТУ У15.9-31931145-002:2008 Вода питна “Благодатна”. Технічні умови.

За методом температурно-програмованої десорбційної маспектрометрії доведена відсутність вилучення компонентів палигорськіта у воду та утворення шкідливих речовин, що можуть додатково забруднювати питну воду при її контакті з адсорбентом.

Бібліографія

1. Singh N. B., Nagpal G., Agrawal S., Rachna (2018). Water purification by using Adsorbents: A Review. *Environmental Technology and Innovation*, Vol. 11, P. 187–240. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.05.006>.
2. Долінський А. А., Ободович О. М., Гусятинська Н. А., Сидоренко В. В. (2018). Реалії сьогодення та перспективи майбутньої підготовки питної та технологічної води. *Наукові праці НУХТ*, 23(2), 247–255, <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2018-24-2-3>.
3. Корінько І. В., Панасенко Ю. О. (2012). Інноваційні технології водопостачання. Харків:ХНАМГ. 208 с.
4. Марценюк О. С., Марценюк Л. С., Маринін А. І., Ткачук Н. А. (2021). Вода в харчовій промисловості і побуті. Київ: Видавничий дім “Кондор”. 136 с.
5. Запольський А. К. (2005). Водопостачання, водовідведення та якість води. Київ “Вища школа”. 671 с.
6. Марценюк О. С., Шевченко О. Ю., Ткачук Н. А., Маринін А. І. (2017). Коливання, пульсації і нестационарні режими у сорбційних процесах: монографія. Київ: Кондор-Видавництво. 472 с.
7. Tsai Y.-L., Chang P.-H., Gao Z.-Y., Xu X.-Y., Chen Y.-H., Wang Z.-H., Chen X.-Y., Jiang W.-T. (2016). Amitriptyline removal using palygorskite clay. *Chemosphere*, Vol. 155, P. 292–299. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.04.062>.
8. Chang P.-H., Li Z., Yu T.-L., Munkhbayer S., Kuo T.-H., Hung Y.-C., Jean J.-S., Lin K.-H. (2009). Sorptive removal of tetracycline from water by palygorskite. *Journal of Hazardous Materials*, Vol.165 (1–3), P. 148–155. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.09.113>.
9. Pardo L., Domínguez-Maqueda M., Cecilia J. A., Rodríguez M. P., Osajima J., Morinigo M. A., Franco F. (2020). Adsorption of Salmonella in Clay Minerals and Clay-Based Materials. *Minerals*, Volume 10 (2), 130. <https://doi.org/10.3390/min10020130>.
10. Unuabonah E. I., Ugwuja C. G., Omorogie M. O., Adewuyi A., Oladoja N. A. (2018). Clays for Efficient Disinfection of Bacteria in Water. *Applied Clay Science*, Vol. 151, P. 211–223. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.10.005>.

References

1. Singh, N. B., Nagpal G., Agrawal S., Rachna (2018). Water purification by using Adsorbents: A Review. *Environmental Technology and Innovation*, Vol. 11, P. 187–240. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2018.05.006>.
2. Dolinsky, A. A., Obodovych O. M., Husyatynska N. A., Sydorenko V. V. (2018). Realii syogodennya ta perspektvyv maybutnoyi pidgotovky pytnoi vody ta tekhnologichnoi vody [Today's realities and future prospects for processing drinking and technological water]. *Naukovi pratsi NUHT*

[Scientific works of NUFT], 23 (2), 247–255. [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.24263/2225-2924-2018-24-2-3>.

3. Korinko, I. V., Panasenko, Yu. O. (2012). Innovatsiini tekhnologii vodopostachannya [Innovative technologies of water supply]. Kharkiv: KhNAUE, 208. [in Ukrainian].

4. Martsenyuk, O. S., Martsenyuk, L. S., Marynin, A. I., Tkachuk, N. A. (2021). Voda v kharchovii promyslovosti i pobuti [Water in food industries and everyday life]. Kyiv: Vydavnychiy dim “Kondor” [Publishing House “Kondor”], 136. [in Ukrainian].

5. Zapolsky, A. K. (2005). Vodopostachannya, vodovidvedennya ta yakist vody [Water supply, water sewage and water quality]. Kyiv “Vyscha Schkola”, 671 [in Ukrainian].

6. Martsenyuk, O. S., Shevchenko, O. Yu., Tkachuk, N. A., Marynin, A. I. (2017). Kolyvannya, pulsatsii i nestatsionarni rezhymy u sorbtsiinyh protsessah: monografiya [Oscillations, pulsations and non-stationary regimes in sorption processes: monograph]. Kyiv: Kondor-Vydavnytstvo [Kondor-Publishing company], 472. [in Ukrainian].

7. Tsai, Y.-L., Chang, P.-H., Gao, Z.-Y., Xu, X.-Y., Chen, Y.-H., Wang, Z.-H., Chen, X.-Y., Jiang, W.-T. (2016). Amitriptyline removal using palygorskite clay. *Chemosphere*, Vol. 155, P. 292–299. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.04.062>.

8. Chang, P.-H., Li, Z., Yu T.-L., Munkhbayer S., Kuo, T.-H., Hung, Y.-C., Jean J.-S., Lin, K.-H. (2009). Sorptive removal of tetracycline from water by palygorskite. *Journal of Hazardous Materials*, Vol. 165 (1-3), P. 148–155. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.09.113>.

9. Pardo, L., Domínguez-Maqueda, M., Cecilia, J. A., Rodríguez, M. P., Osajima, J., Morinigo, M. A., Franco, F. (2020) Adsorption of Salmonella in Clay Minerals and Clay-Based Materials. *Minerals*, Volume 10 (2), P. 130. <https://doi.org/10.3390/min10020130>.

10. Unuabonah, E. I., Ugwuja, C. G., Omorogie, M. O., Adewuyi, A., Oladoja, N. A. (2018). Clays for Efficient Disinfection of Bacteria in Water. *Applied Clay Science*, Vol. 151, P. 211–223. <https://doi.org/10.1016/j.clay.2017.10.005>.

УДК: 616.12-02+577.17

**ХІМІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТА ФІЗІОЛОГІЧНА ДІЯ КОФЕЇНУ ТА ВИВЧЕННЯ
СТИМУЛОВАЛЬНОГО ВПЛИВУ КАВИ НА ОРГАНІЗМ ЛЮДИНИ**

*Морозова Л. П., к.х.н., старший викладач кафедри
технології розведення, виробництва та переробки продукції дрібних тварин
<https://orcid.org/0000-0001-9284-7951>*

Вінницький національний аграрний університет, м. Вінниця, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-14>

Предмет. Кофеїн – це ксантиновий алкалоїд, який міститься в бобах кавового дерева, у листі чаю, мате, ягодах гуарани, а також у невеликих кількостях у какао та горіхах кола; збудник центральної нервової системи, складова тонізуючих напоїв та лікарських засобів для полегшення дихання. У рослинах кофеїн має значення як природний пестицид, який сковає та вбиває комах-паразитів. Кофеїн – безбарвна кристалічна речовина з гірким смаком, за структурною будовою – гетероциклічний алкалоїд пуринового ряду. Вперше був добытий із кавової витяжки у 1821 році. У природі кофеїн трапляється в різних концентраціях разом із іншими ксантиновими алкалоїдами теофіліном і теоброміном, які є кардіостимуляторами. Кофеїн може мати відмінний вплив на організм, залежно від його походження, що пояснюється насамперед, різною концентрацією інших збудників та швидкістю абсорбції. За даними Міжнародної організації кави, близько 1,6 млрд чашок кави споживається в світі щодня. Американське Управління харчовими продуктами та медикаментами стверджує, що середня кількість кофеїну, спожитого в США, становить приблизно 300 мг на людину на добу – еквівалент між двома і чотирма чашками кави. Це вважається помірним споживанням кофеїну, який за даними багатьох досліджень, навіть може приносити користь для здоров'я. В той же час високі дози кофеїну пришвидшують ритм серця і можуть підвищити кров'яний тиск, у деяких випадках викликати спастичні болі в черевній порожнині, сприяти виникненню камінців у нирках. **Мета.** Аналіз даних літературних джерел, які присвячені науковим дослідженням щодо хімічних властивостей та використання пуринових алкалоїдів в харчовій промисловості і медичній практиці та вплив цих речовин на органи та системи організму людини. **Методи.** При написанні статті використовували аналітичні методи досліджень. **Результати.** Проаналізовано та узагальнено літературні наукові дані щодо хімічних властивостей та застосування алкалоїдів пуринового ряду. Зроблено висновок про доцільність та безпечність застосування алкалоїдів пуринового ряду в харчовій промисловості та медичній практиці. **Сфера застосування результатів** досліджень різнобічного впливу на організм людини різних доз алкалоїдів пуринового ряду є можливість використання їх у харчовій галузі та медичній практиці у безпечних кількостях, які не спричинювали б небезпечної дії на людський організм.

Ключові слова: пурин, кофеїн, теофілін, теобромін, кардіостимулятор, центральна нервова система, спазмолітик, діурез, кофеїнізм, кава

**CHEMICAL PROPERTIES AND PHYSIOLOGICAL EFFECTS OF CAFFEINE AND
THE STUDY OF THE STIMULATING EFFECT OF COFFEE ON THE HUMAN BODY**

*Liubov Morozova, PhD, Chemistry, Senior Lecturer
of Department of technology of breeding, production and processing of small animal products
<https://orcid.org/0000-0001-9284-7951>
Vinnytsia National Agrarian University, Vinnytsia, Ukraine*

Subject. Caffeine is a xanthine alkaloid found in coffee beans, tea leaves, mate, guarana berries, and small amounts in cocoa and kola nuts; central nervous system activator, component of tonic drinks and medicines to facilitate breathing. In plants, caffeine is important as a natural pesticide that binds and kills parasitic insects. Caffeine is a colorless crystalline substance with a bitter taste, structurally a heterocyclic alkaloid of the purine series. It was first extracted from a coffee hood in 1821. In nature, caffeine occurs in various concentrations together with the other xanthine alkaloids theophylline and theobromine, which are cardiac stimulants. Caffeine can have a different effect on the body, depending on its origin, which is explained primarily by the different concentration of other pathogens and the rate

of absorption. According to the International Coffee Organization, about 1.6 billion cups of coffee are consumed in the world every day. The US Food and Drug Administration states that the average amount of caffeine consumed in the US is about 300 mg per person per day – the equivalent of between two and four cups of coffee. This is considered a moderate consumption of caffeine, which, according to many studies, can even bring health benefits. At the same time, high doses of caffeine speed up the heart rate and can increase blood pressure, in some cases cause spastic pains in the abdominal cavity, contribute to the formation of kidney stones. **Purpose.** Analysis of data from literary sources devoted to scientific research on the chemical properties and use of purine alkaloids in the food industry and medical practice and the impact of these substances on the organs and systems of the human body. **Methods.** When writing the article, analytical research methods were used. **Results.** Literary scientific data on the chemical properties and use of alkaloids of the purine series have been analyzed and summarized. A conclusion was made about the expediency and safety of the use of purine alkaloids in the food industry and medical practice. **Scope of results.** Studies of the multifaceted effect on the human body of various doses of purine alkaloids, there is a possibility of their use in the food industry and medical practice in safe quantities that would not cause a dangerous effect on the human body.

Key words: purine, caffeine, theophylline, theobromine, pacemaker, central nervous system, antispasmodic, diuresis, caffeineism, coffee

Родоначалником алкалоїдів пуринового ряду є пурин. Пурин, 9Н-імідазо-[4,5-d]-піримідин ($C_5N_4H_4$) – конденсована гетероциклічна система, яка складається з двох циклів: піримідинового (А) та імідазольного (Б) (рис. 1).

Пурин являє собою безкольорові кристали, з температурою плавлення – 216–217°C. Пурин легко випаровується в вакуумі, добре розчиняється в воді, гарячому етанолі, бензолі, толуолі, погано – в ацетоні, діетиловому ефірі, етилацетаті, хлороформі. Стійкий до нагрівання у водних розчинах кислот та лугів, а також дії окисників (HNO_3 конц. та ін.). Пурин є амфотерною сполукою (pK_a 2,39 і 9,93). Утворює солі з HCl , HBr , HNO_3 , пікриною кислотою (з т. пл. 208°C, що має аналітичну цінність), лужними металами (по атому Гідрогену імідазольного кільця). З бромом утворює нестійкий комплекс [1].

Для пурину характерна прототропна таутомерія (рис. 2).

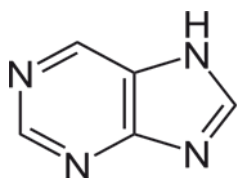


Рис. 1. Структурна формула пурину

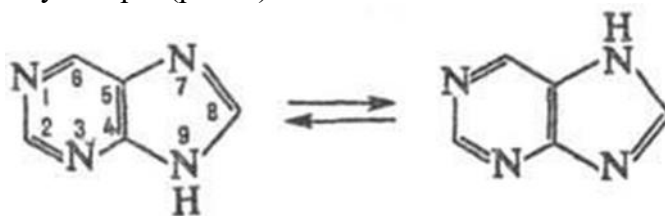


Рис. 2. Таутомерія пурину

Для пурину характерні реакції електрофільного та нуклеофільного заміщення. Електрофільні агенти приєднуються головним чином за атомами Нітрогену. При нагрівання з оцтовим ангідридом перетворює його на суміш 7(9) – ацетил-похідних. Дія на пурин диметилсульфату у водному розчині луку або діазометану в спиртово-ефірному розчині, а також обробка його срібної або талієвої солі еквімолярною кількістю MeI в ДМФА (20°C) призводить до утворення 9-метилпурину. З надлишком MeI в ДМФА з виходом 65% утворюється 7,9-диметилпуриний іодид; 6-метилпурин в аналогічних умовах перетворюється на 6,9-диметилпурин. Електрофільне заміщення по атомам Карбону характерно тільки для похідних пурину з активуючими замісниками і йде завжди по положенню 8, наприклад, під час хлорування газоподібним хлором, прямому бромованні, нітруванні.

Похідні пурину легко вступають в реакції нуклеофільного заміщення (рис. 3).

Лужний гідроліз 2,6,8-трихлорпурину з послідовним відновленням призводить до утворення гіпоксантину (безкольорові кристали, що розкладаються при 150°C) (рис. 4).

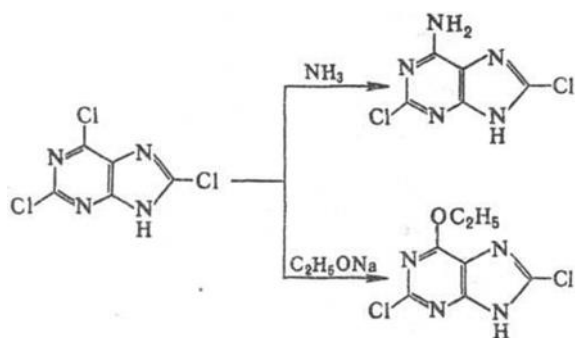


Рис. 3. Реакції нуклеофільного заміщення
2, 6, 8-трихлорпурину

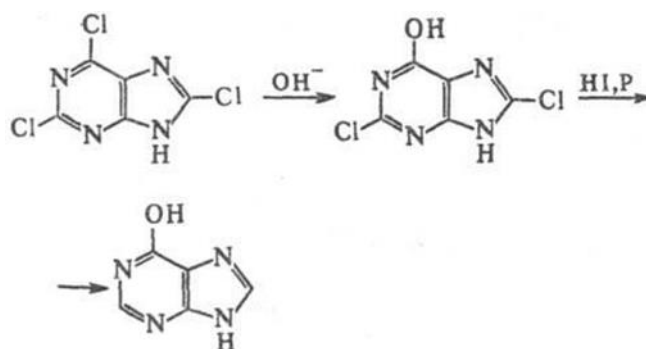


Рис. 4. Реакції лужного гідролізу
2, 6, 8-трихлорпурину з послідовним
відновленням

Серед сполук пурину нас перш за все цікавить гідроксильне похідне пурину – ксантин (3,7-дигідропурин-2,6-діон), який лежить в основі будови пуринових алкалоїдів. Ксантин, через наявність кето-єнольної таутомерії, існує у таутомерній рівновазі з гідроксоформою II (рис. 5).

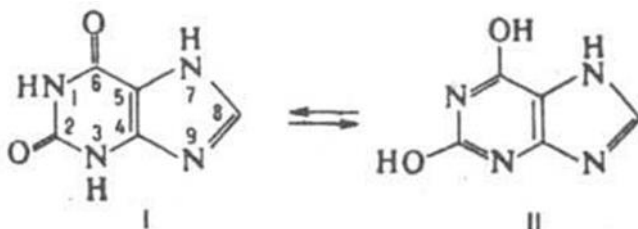


Рис. 5. Структурна формула молекули ксантина

Імідазольний цикл ксантину є нуклеофільним: ксантин галогенується з утворенням 8-галогенксантинів, азосполучення з солями діазонію також йде з утворенням 8-азоксантинів, які потім можуть бути відновлені до 8-аміноксантину. Ксантин проявляє

амфотерні властивості, протонуючись за імідазольним нітрогеном і утворюючи солі з мінеральними кислотами (в тому числі добре кристалізується перхлорат), і утворюючи солі з металами, катіони яких заміщують кислі атоми водню гідроксилів дигідроксиформи (наприклад, нерозчинну срібну сіль реактивом Толленса).

Ксантин стійкий до дії гарячих водних розчинів кислот та лугів. При взаємодії з HCl при 200°C розкладається на CO₂, NH₃, гліцин і мурашину кислоту. При окисленні за допомогою KMnO₄ або KClO₃ у присутності HCl утворює аллоксан (якісна реакція на ксантин).

Електрофільне заміщення відбувається в положення 8, наприклад, галогенування призводить до утворення 8-галогенксантину, дія солей діазонію в лужному середовищі – до утворення 8-азопохідного, який далі може бути відновлений до 8-аміноксантина. У лужному середовищі ксантин легко алкілюється спочатку в положення 3, потім в положення 7 і 1 (в порядку зменшення кислотності груп NH). Так, під дією диметилсульфату в залежності від pH реакції середовища ксантин перетворюється на 3, 7-диметилксантин (теобромін), 1, 3-диметилксантин (теофілін) або 1, 3, 7-триметилксантин (кофеїн). У нейтральному або слабкокислому середовищі відбувається алкілювання ксантину диметилсульфатом за атомами Нітрогену імідазольного кільця з утворенням бетаїнової форми пуринової основи (рис. 6) [2].

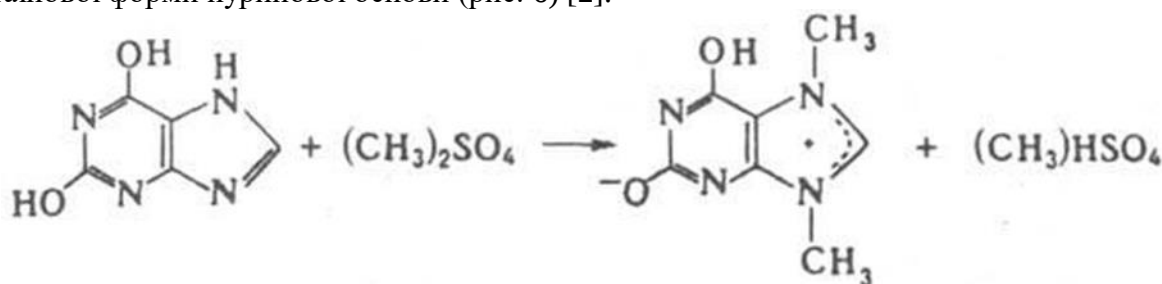


Рис. 6. Реакція алкілювання ксантину диметилсульфатом

Ксантин – це пуринова основа, що входить до складу нуклеїнових кислот в якості міноної основи. У вільному стані в невеликих кількостях міститься в рослинах, крові, тканинах і виділеннях тварин (в тому числі в сечі людини).

Похідні пурину – кофеїн, теобромін і теофілін, та ін. зазвичай називають пуриновими алкалоїдами (рис. 7). В природі існує понад 30 пуринових алкалоїдів. Також відомі синтетичні сполуки, що є похідними пуринових алкалоїдів. Пуринові алкалоїди можуть мати в якості замісників амінокислотні (лупінова кислота) і моносахаридні (еритиденін) фрагменти [3]. Кофеїн у формі напоїв, таких як чай, кава і кола, є одним з найбільш широко вживаних і загальноприйнятих природних стимуляторів. Він також використовується в медицині, але теофілін набагато важливіший як лікарська субстанція через його спазмолітичні властивості, які використовують для полегшення бронхіальної астми. Теобромін є основним компонентом какао і родини какаопродуктів.

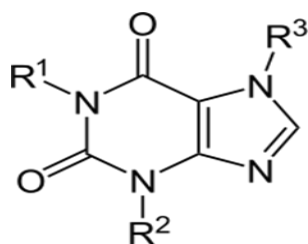


Рис. 7. Пуринові алкалоїди відрізняються, в залежності від замісника за атомом Нітрогену:

ксантин : $R_1 = R_2 = R_3 = H$; кофеїн: $R_1 = R_2 = R_3 = CH_3$; теобромін: $R_1 = H, R_2 = R_3 = CH_3$; теофілін: $R_1 = R_2 = CH_3, R_3 = H$

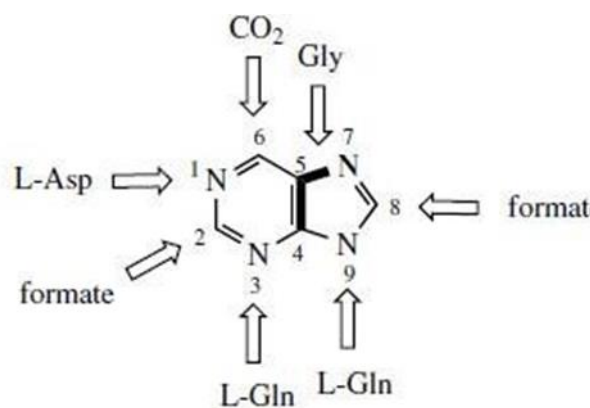


Рис. 8. Біосинтез пуринових алкалоїдів:

Gly – гліцин, L-Asp – L-аспарагінова кислота, L-gln – L-глутамін, formate – форміат [4]

Синтез нуклеотидів аденозин-5-монофосфату (АМФ) і гуанозин-5-монофосфату (ГМФ) здійснюється за допомогою інозин-5-монофосфату (ІМФ) і ксантин-5-монофосфату (ХМФ), а потім пуринові алкалоїди розгалужуються через ХМР. Метилування, а потім втрата фосфату, призводять до утворення нуклеозиду 7-метилксантину, який потім вивільняється з цукру. Послідовні метилування за атомами Нітрогену, дають кофеїн через теобромін, в той час як інша послідовність метилування може пояснювати синтез теофіліну [4].

Теобромін (від лат. Theobroma sacao «какао») – алкалоїд пуринового ряду, ізомер теофіліну. Він являє собою безбарвні кристали гіркої смаку, нерозчинні у воді. Вперше виділено А. А. Воскресенським в 1841 році з насіння какао, або какао-бобів. Точний склад і гомологія з кофеїном була встановлена в 1847 році Карлом Едуардом Глассоном в докторській дисертації «Про склад теоброміну і деяких його сполук» [5], захищеної в Гиссенському університеті. Синтетично був отриманий Германом Фішером в 1882 році алкілуванням йодистим метилом свинцевої солі ксантину $C_5H_2PbN_4O_2$. Крім какао, де теобромін (1,5%) міститься разом з кофеїном, він знаходиться також в невеликих

кількостях в горіхах кола і в деяких видах падубових. Теобромін є білим кристалічним порошком, злегка гіркого смаку, не розкладається на повітрі і при 100°C. При окисленні теоброміну він розпадається з утворенням метилсечовини та метилаллоксану. Теобромін важко розчиняється у воді (1:2000), етанолі (1: 2500), хлороформі (1: 6000), ще важче він розчиняється в діетиловому етері. Розчинність теоброміну в воді підвищується при збільшенні температури. Теобромін екстрагується органічними розчинниками з кислих водних розчинів. Максимальні кількості теоброміну екстрагуються хлороформом при рН = 4–7. Так як в більшості природних джерел теобромін міститься разом з іншими пуриновими алкалоїдами, це дозволяє селективно екстрагувати пуринові алкалоїди, в залежності від рН розчину.

За хімічною будовою і дією на організм теобромін близький до кофеїну і теофіліну. Теобромін стимулює серцеву діяльність, розширює коронарні судини серця і мускулатуру бронхів, посилює діурез. Теобромін слабо збуджує центральну нервову систему, в порівнянні з кофеїном. У медичній практиці теобромін застосовується при спазмах мозкових судин, при хронічній серцевій недостатності. Теобромін застосовують у вигляді натрієвої солі в поєднанні з саліцилатом натрію (темісал) і з іншими фармацевтичними препаратами. Він входить до складу таблеток темісал, теоверін, теодінал, тепалюсал, тесамінал, а також є складовою частиною ряду інших складних лікарських форм [6].

Теобромін добре всмоктується з травного тракту. В організмі він метаболізується шляхом N-деметилювання і окислення. В результаті цих перетворень в якості метаболітів теоброміну утворюються 3-метилксантин, 7- метилксантин і 7-метилсечова кислота, які виводяться з організму з сечею.

Теобромін якісно та кількісно можна визначити наступними реакціями та методами:

1. Теобромін дає мурексидну реакцію (це потрібно враховувати при визначенні кофеїну в природних джерелах, яке неможливе в присутності кофеїну).

2. При нагріванні теоброміну з реактивом Несслера з'являється слабо- коричневе забарвлення (кофеїн в цих умовах дає червоно-бурий осад).

3. Теобромін можна виявити за допомогою мікрокристалоскопічної реакції з реактивом Драгендорфа. З цією метою розчин досліджуваної речовини в хлороформі наносять на предметне скло і при кімнатній температурі випаровують досуха. До сухого залишку додають краплю 10%-го розчину хлоридної кислоти і краплю реактиву Драгендорфа. При наявності теоброміну в досліджуваному розчині через 10–15 хв з'являються пучки темно-червоних голчастих кристалів. Межа виявлення становить 19 мкг теоброміну в пробі.

4. Виявлення теоброміну по УФ- та ІЧ-спектрами. Лужні розчини теоброміну (рН = 9,4) мають максимум поглинання при довжині хвилі 273 нм. ВІК-області спектра (диск з бромідом калію) основа теоброміну має основні піки при 1690, 1221 і 1550 см⁻¹ [7].

Теофілін (1,3-диметилксантин) є алкалоїдом пуринового ряду, який міститься в листях чаю. У наш час теофілін отримують шляхом синтезу. Теофілін є ізомером теоброміну. При окисненні він розкладається на сечовину і диметилаллоксан. Основа теофіліну розчиняється в етанолі (1:80), хлороформі (1:86), слабо розчиняється у воді (1:120) та діетиловому етері. Теофілін екстрагується органічними розчинниками з кислих водних розчинів, як і теобромін, що унеможливило їх окрему екстракцію. Максимальні кількості теофіліну екстрагуються при рН = 4–7.

Теофілін застосовується в медицині у вигляді порошку, він входить до складу свічок, таблеток (еуфілін, теофедрин, антастман і ін.), що містять суміш кількох препаратів. Теофілін має діуретичну дію. Він стимулює скоротливу діяльність міокарда, розширює просвіт бронхіол, збуджує центральну нервову систему. З огляду на перелічені вище фармакологічні властивості теофіліну, він застосовується для регуляції серцево-судинної системи, як діуретик, протиастматичний засіб, а також використовується для лікування ішемічної хвороби серця.

Теофілін більш токсичний, ніж кофеїн і теобромін. Після прийому великих доз теофіліну порушується діяльність центральної нервової та серцево-судинної системи.

В організмі теофілін зазнає метаболізму. При цьому утворюються 1,3-диметилсечова кислота (близько 50%), 1-метилсечова кислота (близько 20%) і сліди 3-метилсечової кислоти. Всі ці метаболіти виділяються з організму з сечею [2]. Що до якісного та кількісного визначення теофіліну, то методики є досить схожими з визначенням інших алкалоїдів цієї групи, проте, є й деякі відмінності:

1. Як і інші ксантинові алкалоїди, теофілін дає мурексидну реакцію.

2. Для того, щоб відрізнити теофілін від теоброміну використовують різне відношення цих речовин до діазореактиву. Теофілін дає реакцію з діазотованою сульфаніловою кислотою, проте теобромін не дає цієї реакції.

3. Виявлення теофіліну за УФ- та ІЧ-спектрами. Основа теофіліну в 0,1N HCl має максимум поглинання при довжині хвилі, що дорівнює 270 нм; в ІЧ-області спектра основа теофіліну (диск з KBr) має основні піки з довжинами хвиль 1660, 1700, 1445 і 1560 cm^{-1} [7].

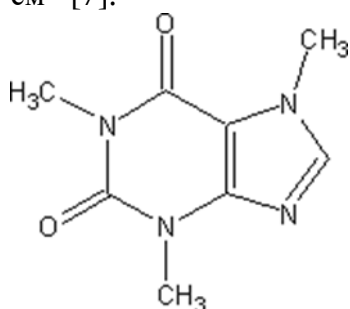


Рис. 9. Структурна формула кофеїну

Кофеїн – алкалоїд пуринового ряду, який міститься в різних частинах багатьох рослин, таких, як кавове дерево, чайний кущ, какао, чай-мате, гуарана, горіхах кола і деяких інших. Він синтезується рослинами для захисту від комах, що поїдають листя, стебла і зерна, а також для заохочення комах запилювачів (рис. 9).

Кофеїн є слабкою основою (рК спряженої кислоти $\sim 0,6$), що вимагає додавання сильної кислоти для протонування. Кофеїн не містить стереогенних центрів і, отже, класифікується як ахіральна молекула. Ксантинове ядро кофеїну містить два конденсованих кільця – піримідиніон і імідазол. Піримідиніон, в свою чергу, містить дві амідні функціональні групи, які існують переважно в цвіттер-йонному резонансі, де атоми Нітрогену мають подвійний зв'язок з сусідніми атомами амідних атомів карбону. Отже, всі шість атомів всередині системи піримідиніонових кілець sp^2 -гібридизовані і є плоскими. Отже, ядро кофеїну містить в цілому десять π -електронів і, згідно з правилом Хюккеля, є ароматичним. Кофеїн нестабільний у лужних розчинах [8]. Під дією водного розчину лугу відбувається розкриття піримідинового кільця, з утворенням кофеїдину (рис.10).

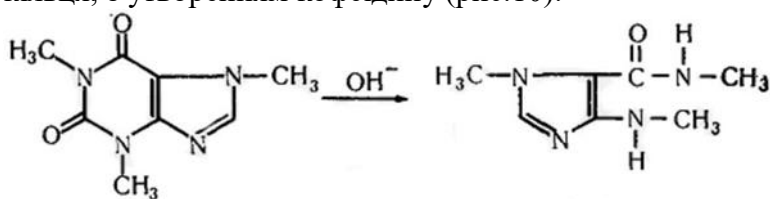


Рис. 10. Схема взаємодії кофеїну з лугом

Щодо фізичних властивостей кофеїну, то безводний кофеїн являє собою порошок білого кольору і без запаху з температурою плавлення 235-238°C. Кофеїн помірно розчинний у воді при

кімнатній температурі, але дуже добре розчиняється в киплячій воді (66 г/100 мл). Він також помірно розчинний в етанолі, і добре в галогеналканах (табл.1) [9].

За фізіологічною дією кофеїн є стимулятором центральної нервової системи, який зменшує втому і усуває сонливість. При звичайних дозах володіє різним впливом на навчання і пам'ять, але, як правило, покращує час реакції, неспання, концентрацію і координацію рухів. Кількість кофеїну, необхідна для отримання цих ефектів, варіюється від людини до людини, в залежності від розміру тіла, індивідуальних особливостей (чутливості організму), особливостей метаболізму, толерантності, тощо. Бажані ефекти виникають приблизно через годину після вживання, а бажані ефекти помірної дози зазвичай проходять приблизно через три або чотири години. Кофеїн може затримувати або запобігати настанню сна, і покращує виконання завдань під час позбавлення сну [10,

11].

Таблиця 1

Розчинність кофеїну в деяких розчинниках [9]

Розчинник	Розчинність, г/100г	Температура, °C
Етанол	1,32	25
Етилацетат	0,73	18
Метанол	1,14	25
Амілацетат	0,72	30,5
Оцтова к-та	2,6	21,5
Ацетон	2,32	30,5
Анілін	29,4	30,5
Бензальдегід	13,1	30,5
Бензен	0,91	18
Трихлорметан	12,3	25
Діетиловий етер	0,12	18
Піридин	34,39	25
Толуен	0,58	25
Вода	1,00	15
Вода	2,13	25
Вода	19,23	80

серця, нирок), збільшувати сечовиділення, зменшувати здатність тромбоцитів до агрегації. Кофеїн може викликати легку форму лікарської залежності – пов'язану з такими симптомами абстиненції, як сонливість, головний біль і дратівливість – коли людина припиняє вживати кофеїн після багаторазового щоденного прийому [8]. Дози кофеїну, еквівалентні кількості, яка зазвичай міститься в стандартних порціях чаю, кави і газованих безалкогольних напоїв, не володіють діуретичною (сечогінною) дією. Тим не менш, гостре споживання кофеїну у великих дозах (не менше 250–300 мг, що еквівалентно кількості, яка міститься в 2–3 чашках кави або 5–8 чашках чаю), призводить до короткочасної стимуляції виділення сечі. Це збільшення пов'язане як з діурезом (збільшення виведення води), так і з натрійурезом (збільшення виведення йонів Na^+); він опосередковується через блокаду аденозинових рецепторів у нефроні. Гостре збільшення сечовиділення може збільшити ризик зневоднення. Проте, хронічні споживачі кофеїну розвивають толерантність до цього ефекту і не відчувають збільшення виділення сечі. Толерантність до вегетативних ефектів, таких як підвищений кров'яний тиск і частота серцевих скорочень, а також до діуретичного ефекту (збільшення сечовипускання) розвивається при хронічному застосуванні (тобто ці симптоми стають менш вираженими або не виявляються після постійного застосування).

Досліди на здорових добровольцях, які утримувалися від кофеїновмісних продуктів показують, що болісна доза кофеїну в 250 мг призводила до 5–10% збільшення як систолічного, так і діастолічного артеріального тиску протягом 1–3 годин. Однак толерантність до цього ефекту розвивалася, коли кофеїн давали тричі на день, протягом семи днів. Що до впливу на серцевий ритм, кофеїн протягом тривалого часу, був залучений в етіологію серцевих аритмій, але тільки кілька добре розроблених досліджень були проведені на людях [12]. Зв'язок між екстрасистолією і споживанням великої кількості кави або чаю була виявлена в великому перехресному дослідженні, про яке повідомили [13].

В той же час, [14] не виявили збільшення тяжкості або частоти шлуночкових аритмій після прийому кофеїну (300 мг), в плацебо-контрольованому дослідженні пацієнтів з перенесеним інфарктом міокарда.

Кофеїн збільшує фізичну працездатність, покращує спортивні результати в аеробних (особливо витривалих) і анаеробних умовах. Помірні дози кофеїну (близько 5 мг/кг) можуть поліпшити результати в спринті, показники в велоспорті і бігу за певний час, витривалість (тобто уповільнюють початок м'язової втоми і центральної втоми), і циклічну вихідну потужність. Кофеїн покращує м'язову силу, а також підвищує продуктивність в анаеробних тестах. Споживання кофеїну перед анаеробним тренуванням, пов'язано зі зниженням толерантності до фізичних навантажень. Хоча цей ефект відсутній під час вправ на витривалість, продуктивність в силових вправах значно поліпшується. Кофеїн має здатність підсилювати серцеву діяльність, прискорювати пульс, викликати розширення кровоносних судин (переважно судин скелетних м'язів, головного мозку,

В той час, [4] встановили, що 200 мг кофеїну викликали значне збільшення частоти екстрасистол у суб'єктів з високою частотою спонтанних шлуночкових ектопічних ударів. Таким чином, відповідно до традиційного клінічного поданням про вплив кофеїну на серцевий ритм, безпечні дози кофеїну (до 300–400мг/добу) не призводять до виникнення клінічно значущих аритмій [11].

Кофеїн з кави або інших напоїв поглинається тонкою кишкою протягом ~1 години після прийому і розподіляється по всіх тканинах організму. Пікова концентрація в крові досягається протягом 1–2 годин. Біологічний період напіврозпаду кофеїну – час, необхідний організму для видалення половини дози – широко варіюється серед людей в залежності від таких факторів, як вагітність, інші ліки, рівень функції ферментів печінки (необхідний для метаболізму кофеїну) і вік. У здорових дорослих період напіввиведення кофеїну з організму становить від 3 до 7 годин. Куріння зменшує період напіврозпаду на 30-50%, тоді як оральні контрацептиви можуть подвоїти його, а вагітність збільшити до 15 годин (в третьому триместрі). У новонароджених період напіврозпаду може становити 80 годин і більше, причому з віком він дуже швидко падає, можливо, до значення, меншого, ніж у дорослих, до віку 6 місяців. Антидепресант флувоксамин (Luvox) знижує кліренс кофеїну більше ніж на 90% і збільшує період його напіввиведення більш ніж в десять разів [15]; з 4,9 години до 56 годин. Кофеїн метаболізується в печінці шляхом окиснення за допомогою оксидази цитохрому P450, зокрема, за допомогою ізоферменту CYP1A2, з утворенням трьох основних метаболітів:

1. параксантину (84%): збільшує ліполіз, що призводить до підвищення рівня гліцерину і вільних жирних кислот в плазмі крові.

2. теоброміну (12%): розширює кровоносні судини і збільшує об'єм сечі. Теобромін є також основним алкалоїдом в какао-бобах (шоколад).

3. теофіліну (4%): розслаблює гладкі м'язи на бронхи, і використовується для лікування астми. Терапевтична доза теофіліну, однак, у багато разів більше, ніж досягли рівня, що існував від метаболізму кофеїну.

Фізіологічні ефекти кофеїну обумовлені декількома механізмами. По-перше, він є антагоністом всіх чотирьох підтипів аденозинових рецепторів (A_1 , A_{2A} , A_{2B} і A_3), хоча і з різною активністю. Значення спорідненості (K_D) кофеїну до аденозинових рецепторів людини становлять 12 мкМ при A_1 , 2,4мкМ при A_{2A} , 13 мкМ при A_{2B} і 80 мкМ при A_3 . Серцебиття викликано блокадою рецептора A_1 .

Оскільки кофеїн розчинний як в воді, так і в ліпідах, він легко проникає через гематоенцефалічний бар'єр, що відокремлює системний кровотік від мозкового. Опинившись у мозку, основним способом дії є неселективний антагонізм аденозинових рецепторів (іншими словами, кофеїн – агент, що знижує дію аденозину). Молекула кофеїну структурно подібна до аденозину і здатна зв'язуватися з рецепторами аденозину на поверхні клітин, не активуючи їх, тим самим діючи як конкурентний антагоніст. Аденозин виконує роль гальмівного нейромедіатора, який відповідає за фізіологічні процеси гальмування в ЦНС. За відсутності кофеїну і коли людина не спить, в нейронах (ЦНС) міститься мало аденозину. За період неспання аденозин накопичується в нейронних синапсах (міжнейронних контактах), в свою чергу зв'язуючись і активуючи аденозинові рецептори, виявлені в деяких нейронах ЦНС; при активації ці рецептори викликають клітинну відповідь, яка в кінцевому підсумку посилює сонливість. Коли кофеїн споживається, він протидіє аденозиновим рецепторам; іншими словами, кофеїн запобігає активації рецептора аденозином, блокуючи місце на рецепторі, де аденозин зв'язується з ним. В результаті кофеїн тимчасово запобігає або знімає сонливість і, отже, підтримує або відновлює бадьорість. По-друге, кофеїн, як і інші ксантини, також діє як інгібітор фосфодіестерази. Як конкурентний неселективний інгібітор фосфодіестерази, кофеїн підвищує внутрішньоклітинний цАМФ, та через активацію протеїну А, пригнічує синтез TNF-альфа і лейкотрієну і зменшує запалення і вроджений імунітет (ефект

здійснюється за рахунок інгібування ізоформи 4 ФДЕ). Кофеїн також впливає на холінергічну систему, де він пригнічує фермент ацетилхолінестеразу [16].

Споживання 1–1,5 г (1000–1500 мг) в день пов'язано зі станом, відомим як кофеїнізм, який зазвичай поєднує в собі залежність від кофеїну з широким спектром неприємних симптомів, включаючи нервозність, дратівливість, неспокій, безсоння, головні болі і серцебиття після вживання кофеїну. Передозування кофеїну може привести до надмірної стимуляції центральної нервової системи, яке називається інтоксикацією кофеїном. Цей синдром зазвичай виникає тільки після прийому великої кількості кофеїну, що значно перевищує кількість, що зустрічається в типових напоях з кофеїном і таблетках кофеїну (наприклад, більше ніж 400-500 мг за одноразово). Симптоми інтоксикації кофеїном можна порівняти з симптомами передозування інших стимуляторів: вони можуть включати занепокоєння, збудження, безсоння, гіперемія обличчя, прискорене сечовипускання, шлунково-кишкові розлади, посмикування м'язів, безладний потік думок і мови, дратівливість, нерегулярне або прискорене серцебиття і психомоторне збудження. У випадках набагато більших передозувань можуть виникнути манія, депресія, помилки в судженні, дезорієнтація, розгальмовування, марення, галюцинації або психоз, а також може викликати рабдоміоліз (руйнування скелетних м'язів). Масивне передозування може призвести до смерті. LD₅₀ кофеїну в організмі людини залежить від індивідуальної чутливості, але, за оцінками, дорівнює 150–200 міліграмів на кілограм маси тіла (75–100 чашок кави для 70 кг ваги дорослої людини). Летальна доза нижче в людей, чия здатність метаболізувати кофеїн порушується через генетичні особливості або хронічні захворювання печінки. Лікування легкої інтоксикації кофеїном направлено на полегшення симптомів; тяжка інтоксикація може зажадати перитонеального діалізу, гемодіалізу або гемофільтрації [16].

Кількісний вміст кофеїну в різних продуктах харчування, медикаментах та харчових добавках наведено в табл. 2 [17].

Таблиця 2

**Вміст кофеїну в продуктах харчування,
деяких медикаментах та харчових добавках [17]**

Продукт	Об'єм або маса	Вміст кофеїну, мг (середній діапазон)
Кава (мелена)	125 мл	85 (60–135)
Кава (розчинна)	125 мл	65 (35–105)
Кава (декофеїнізована)	125 мл	3 (1–5)
Чай	150 мл	32 (20–45)
Холодний чай	330 мл	20 (10–50)
Гарячий шоколад	150 мл	4 (2–7)
Енергетичні напої	330 мл	80 (70–120)
Шоколадний батончик	30 г	20 (5–36)
Молочний шоколад	30 г	6 (1–15)
Чорний шоколад	30 г	60 (20–120)
Анальгетики, антипіретики	1 доза	30 (25–65)
Спортивне харчування	1 порція	100 (75–200)

фізичного тренування. Розуміння їхнього впливу та розумне використання може значно поліпшити спортивні результати та сприяти загальному здоров'ю спортсменів. Проте, необхідно пам'ятати про необхідність консультації з фахівцем перед початком використання будь-яких БАД.

В останні роки проведені дослідження [18, 19] щодо передтренувальних комплексів, які представляють собою окремий напрямок в індустрії спортивного харчування. Часто у склад передтренувальних комплексів входить кофеїн. Використання кофеїну в спорті

Спортивне харчування вже давно набуло значного поширення на ринках різних країн. Але потрібно розуміти, що спортивне харчування – це добавка до основного раціону людини, причому – саме добавка, бо спортивне харчування ніколи не замінить природну їжу. Біологічно активні добавки (БАД) відіграють важливу роль у підтримці та оптимізації фізичної активності та спортивних досягнень. БАД стають невід'ємною частиною спортивної дії та

досить поширене і може мати позитивний вплив на фізичні показники та спортивні результати. Однак, ефективність та підходи до використання кофеїну можуть варіюватися в залежності від індивідуальних особливостей кожної людини та конкретних умов.

Є три механізми впливу кофеїну на організм людини. Перший – кофеїн підвищує вироблення адреналіну, а він у свою чергу вивільняє жири, які спалюються та використовуються як паливо. Тому, сам по собі кофеїн можна вважати легким жироспалювачем. Друге – це вплив на самі м'язи. Кофеїн стимулює та покращує їх функцію. Третє – кофеїн пригнічує відчуття втоми. Він «каже» мозку, що той ще може працювати. Кофеїн працює, і це доведено.

Основні переваги використання кофеїну в спорті.

Підвищення енергетичного рівня: кофеїн є стимулятором центральної нервової системи, що може підвищити рівень бадьорості, концентрації та відчуття енергії.

Збільшення витривалості: кофеїн може поліпшити витривалість шляхом збільшення мобілізації жирів як джерела енергії, що дозволяє зекономити глікоген для тривалих тренувань.

Підвищення фізичної продуктивності: кофеїн може покращити фізичні показники, такі як сила, швидкість та витривалість, а також зменшити відчуття втоми. Підтримка відновлення: кофеїн може сприяти відновленню, зменшуючи відчуття болю та покращуючи процеси реабілітації після тренувань. Щоб максимізувати позитивний ефект та уникнути негативних наслідків, важливо враховувати такі фактори:

Індивідуальні особливості: чутливість до кофеїну може варіюватися, тому важливо тестувати вплив кофеїну на себе та визначати оптимальну дозу.

Час прийому: оптимальний час для прийому кофеїну може залежати від конкретного виду спорту та індивідуальних ритмів активності.

Дозування: забезпечення правильної дози кофеїну важливо для досягнення бажаного ефекту та уникнення побічних наслідків, таких як нервозність чи безсоння. Використовувати цю добавку можна, коли є потреба, але не кожен день. Нормальна відчутна порція – 100 мг за один раз. Наприклад, у стандартній порції еспreso – 100–120 мг кофеїну, у чайній ложці розчинної кави – 80–100 мг, а у банці Red Bull – 80 мг. Пік роботи кофеїну починається за 30–60 хвилин. Тому, якщо тренування тривале, можна розділити та пити частинами, до тренування та в середині. Після тренування кофеїн не рекомендовано пити, адже нервова система має заспокоюватися. Окрім випадків, коли терміново потрібно сісти за кермо чи виконати важливу роботу. Близько 5 мг кофеїну на 1 кг ваги тіла відчутно підвищують силу та витривалість атлета. Всесвітня антидопінгова агенція та інші організації зараз не вважають кофеїн допінгом. Але все ж таки контролюють, щоб ніхто не постраждав. Концентрація кофеїну в крові під час змагань не повинна перевищувати ліміт. Наприклад, якщо випити 8 чашок міцної кави залпом, це вже наблизить спортсмена до верхньої межі норми. Звичайно, тут потрібно враховувати особливості атлета, його вагу і т.д. Якщо переборщувати з кофеїном, то можна одержати безсоння, тривожність, проблеми із серцем або взагалі отримати травму [20].

Висновки. Таким чином, кава як стимулювальний напій дуже популярна в усьому світі. Алкалоїд кофеїн блокує аденозинові рецептори, які викликають сонливість. Тому нерідко, вона стає єдиним засобом бадьорості. Кава дійсно покращує короточасну пам'ять, але у разі частого її застосування ці ефекти зникають. Від постійного вживання організм людини при звичається до певної кількості кофеїну, цей стан відомий під назвою «кофеїнізм». В такому разі для отримання позитивного ефекту треба все більше вживати кави. Але також збільшуються негативні ефекти від неї, такі як прискорене серцебиття, головний біль тощо. Тому краще мінімізувати кількість вживаної кави або відмовитись від неї. І тоді в потрібний період часу вплив та наслідки від спожитої кави в помірній кількості будуть найбільш помітні та безпечні для організму.

Бібліографія

1. Худоярова О. С. Фармацевтична хімія: навчальний посібник для студентів хімічних спеціальностей вищих педагогічних навчальних закладів. Вінниця: ТОВ «Нілан – ЛТД». 2018. 194 с.
2. Хранівська В. О., Ніжник Г. П., Муленко С. М. Фармацевтична хімія: підручник. Київ: Медицина. 2015. 352 с.
3. Безуглий П. О. та ін. Фармацевтична хімія: підручник. Вінниця: Нова Книга. 2017. 456 с.
4. Groisser D. S. A study of caffeine in tea. I. A new spectrophotometric micro-method. II. Concentration of caffeine in various strengths, brands, blends, and types of teas. *American Journal of Clinical Nutrition*. 1978. № 31 (10). p. 1727–1731. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/707326>.
5. He K., Yasuhiro O. Determination of Caffeine and Its Metabolites in Wastewater Treatment Plants Using Solid-Phase Extraction and Liquid Chromatography–Tandem Mass Spectrometry. *Analytical Sciences*. 2018. № 34 (3). p. 349–354. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29526904/>.
6. Хранівська В. О., Ніжник Г. П., Муленко С. М. Фармацевтична хімія: навчально-методичний посібник. Київ: Медицина. 2017. 120 с.
7. Цуркан О. О. Фармацевтична хімія. Аналіз лікарських речовин за функціональними групами: навчальний посібник. Київ: Медицина. 2019. 152 с.
8. Ніженковська І. В., Вельчинська О. В., Кучер М. М. Токсикологічна хімія: підручник. Київ: Медицина. 2012. 372 с.
9. Грозав А. М. Фармацевтична хімія: навчально-методичний посібник. Чернівці: Медуніверситет. 2016. 181 с.
10. Luiz A., Varkey T. Chemical Analysis of Caffeine Content in Tea and Coffee Samples. *Asian Journal of Science and Applied Technology*. 2014. Vol. 3. № 1. p. 1–4.
11. Verenitch S. S., Lowe S. J. Determination of acidic drugs and caffeine in municipal wastewaters and receiving waters by gas chromatography-ion trap tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography*. 2006. 1116 (1–2). p. 193–203. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2006.03.005>.
12. Christophe B. et al. The Safety of Ingested Caffeine: A Comprehensive Review. *Front Psychiatry*. 2017. Vol. 8. p. 80–88. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5445139/>.
13. Pelozo M.I., Palazzo de Mello J.C. Spectrophotometric determination of tannins and caffeine. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. 2008. Vol. 51. № 3. p. 447–451. <https://dx.doi.org/10.1590%2Fs1516-89132008000300002>.
14. Van Der Meer C., Haas R. E. Determination of caffeine in serum by straight-phase high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*. 1980. Vol. 182. Issue 1. p. 121–124. [https://doi.org/10.1016/S0378-4347\(00\)81660-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4347(00)81660-6).
15. Чекман І. С. та ін. Загальна фармакологія: підручник. Запоріжжя: ЗДМУ. 2016. 209 с.
16. Нековаль І. В., Казанюк Т. В. Фармакологія: підручник. 4-е видання, виправлене. Київ: Медицина. 2011. 520 с.
17. Bamidele Martin W. Ultra-violet Spectrophotometric Determination of Caffeine in Soft and Energy Drinks. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 2014. Vol. 6. № 2. p. 155–158.
18. Lane S. C., Areta J. L., Bird S. R., Coffey V. G., Burke L. M., Desbrow B., Karagounis L. G., Hawley J. A Caffeine ingestion and cycling power output in a low or normal muscle glycogen state. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2013. Vol. 45. № 8. p. 1577–1584. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31828af183>.
19. Jonathan Wiles, Damian A. Coleman, Michael Tegerdine, Ian Swaine. The Effects of Caffeine Ingestion on Performance Time, Speed and Power during a Laboratory-based 1 km Cycling Time-trial. *Journal of Sports Sciences*. 2006. Vol. 24. № 11. p. 1165–1171. <https://doi.org/10.1080/02640410500457687>.
20. Храбра С. З., Барладин О. Р., Вакуленко Л. О. Кофеїн в спортивному харчуванні. Інноваційні підходи до процесу спортивного тренування. Матеріали регіонального науково-практичного семінару (24 листопада 2023 р.). Тернопіль: ТАЙП. 2023. с. 190–193.

References

1. Khudoiarova, O. S. (2018). *Farmatsevychna khimiia: navchalnyi posibnyk dlia studentiv khimichnykh spetsialnostei vyshchikh pedahohichnykh navchalnykh zakladiv* [Pharmaceutical chemistry: a study guide for students of chemical specialties of higher pedagogical educational institutions]. Vinnytsia: TOV «Nilan – LTD». 194 p. [in Ukrainian].

2. Khranivska, V. O., Nizhnyk, H.P., Mulenکو, S.M. (2015). Farmatsevychna khimiia: pidruchnyk [Pharmaceutical chemistry: textbook]. Kyiv: Medytsyna [Medicine]. 352 p. [in Ukrainian].
3. Bezuhlyi, P. O. et al. (2017). Farmatsevychna khimiia: pidruchnyk [Pharmaceutical chemistry: textbook]. Vinnytsia: Nova Knyha [New Book]. 456 p. [in Ukrainian].
4. Groisser, D. S. (1978). A study of caffeine in tea. I. A new spectrophotometric micro-method. II. Concentration of caffeine in various strengths, brands, blends, and types of teas. *American Journal of Clinical Nutrition*. № 31(10). p. 1727–1731. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/707326>.
5. He, K., Yasuhiro, O. (2018). Determination of Caffeine and Its Metabolites in Wastewater Treatment Plants Using Solid-Phase Extraction and Liquid Chromatography–Tandem Mass Spectrometry. *Analytical Sciences*. № 34(3). p. 349–354. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29526904/>.
6. Khranivska, V. O., Nizhnyk, H. P., Mulenکو, S. M. (2017). Farmatsevychna khimiia: navchalno-metodychnyi posibnyk [Pharmaceutical chemistry: educational and methodological manual]. Kyiv: Medytsyna [Medicine]. 120 p. [in Ukrainian].
7. Tsurkan, O. O. (2019). Farmatsevychna khimiia. Analiz likarskykh rehovyn za funktsionalnomy hrupamy: navchalnyi posibnyk [Pharmaceutical chemistry. Analysis of medicinal substances by functional groups: tutorial]. Kyiv: Medytsyna [Medicine]. 152 p. [in Ukrainian].
8. Nizhenkovska, I. V., Velchynska, O. V., Kucher, M. M. (2012). Toksykologichna khimiia: pidruchnyk [Toxicological chemistry: a textbook]. Kyiv: Medytsyna [Medicine]. 372 p. [in Ukrainian].
9. Hrozav, A. M. (2016). Farmatsevychna khimiia: navchalno-metodychnyi posibnyk [Pharmaceutical chemistry: educational and methodological manual]. Chernivtsi: Meduniversytet [Medical University]. 181 p. [in Ukrainian].
10. Luiz, A., Varkey, T. (2014). Chemical Analysis of Caffeine Content in Tea and Coffee Samples. *Asian Journal of Science and Applied Technology*. Vol. 3. №1. p. 1–4.
11. Verenitch, S. S., Lowe, S. J. (2006). Determination of acidic drugs and caffeine in municipal wastewaters and receiving waters by gas chromatography-ion trap tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography*. 1116 (1–2). p. 193–203. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2006.03.005>.
12. Christophe, B. et al. (2017). The Safety of Ingested Caffeine: A Comprehensive Review. *Front Psychiatry*. Vol. 8. p. 80–88. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5445139>.
13. Pelozo, M. I., Palazzo de Mello, J. C. (2008). Spectrophotometric determination of tannins and caffeine. *Brazilian Archives of Biology and Technology*. Vol. 51. № 3. p. 447–451. <https://dx.doi.org/10.1590%2Fs1516-89132008000300002>.
14. Van Der Meer, C., Haas, R.E. (1980). Determination of caffeine in serum by straight-phase high-performance liquid chromatography. *Journal of Chromatography B: Biomedical Sciences and Applications*. Vol. 182. Issue 1. p. 121–124. [https://doi.org/10.1016/S0378-4347\(00\)81660-6](https://doi.org/10.1016/S0378-4347(00)81660-6).
15. Chekman, I. S. et al. (2016). Zahalna farmakologhiia: pidruchnyk [General pharmacology: a textbook]. Zaporizhzhia: ZDMU [ZSMU]. 209 p. [in Ukrainian].
16. Nekoval, I. V., Kazaniuk, T. V. (2011). Farmakologhiia: pidruchnyk. 4-e vydannia, vypravlene [Pharmacology: textbook. 4th edition, corrected]. Kyiv: Medytsyna [Medicine]. 520 p. [in Ukrainian].
17. Bamidele Martin, W. (2014). Ultra-violet Spectrophotometric Determination of Caffeine in Soft and Energy Drinks. *Advance Journal of Food Science and Technology*. Vol. 6. № 2. p. 155–158. <https://maxwellsci.com/jp/mspabstract.php?jid=AJFST&doi=ajfst.6.2>.
18. Lane, S. C., Areta, J. L., Bird, S. R., Coffey, V. G., Burke, L. M., Desbrow, B., Karagounis, L. G., Hawley, J. A. (2013). Caffeine ingestion and cycling power output in a low or normal muscle glycogen state. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Vol. 45. № 8. p. 1577–1584. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e31828af183>.
19. Jonathan Wiles, Damian A. Coleman, Michael Tegerdine, Ian Swaine. (2006). The Effects of Caffeine Ingestion on Performance Time, Speed and Power during a Laboratory-based 1 km Cycling Time-trial. *Journal of Sports Sciences*. Vol. 24. № 11. p. 1165–1171. <https://doi.org/10.1080/02640410500457687>.
20. Khrabra, S. Z., Barladyn, O. R., Vakulenko, L. O. (2023). Kofein v sportyvnomu kharchuvanni. Innovatsiini pidkhody do protsesu sportyvnoho trenuvannia [Caffeine in sports nutrition. Innovative approaches to the process of sports training]. Materialy rehionalnoho naukovo-praktychnoho seminaru (24 lystopada 2023 r.) [Materials of the regional scientific and practical seminar (November 24, 2023)]. Ternopil: TAIP. p. 190–193. [in Ukrainian].

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ НА ВИХІД
ТЕРМОКИСЛОТНОЇ СИРНОЇ МАСИ

Орлюк Ю. Т., к.т.н., с.н.с., зав. відділу масло-та сироробства
Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна
<https://orcid.org/0000-0003-1273-3554>

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-15>

Предмет. Технологічні параметри процесу отримання термокислотної сирної маси при виробництві сирів відноситься до одних з найважливіших факторів, які впливають на формування органолептичних показників готового продукту та показники його якості і безпечності. Визначення раціональних параметрів процесу отримання термокислотної сирної маси дозволяє корегувати його активність та гарантовано отримувати готовий продукт з заданими показниками якості та безпечності. **Мета.** Полягає в науковому обґрунтуванні закономірностей процесу термокислотної коагуляції білків молочної сировини при отриманні сирної маси для розробки ресурсоощадних технологій нових різновидів сирів термокислотних з підвищеною біологічною цінністю. **Методи.** Фізико-хімічні показники молочної сировини та готового продукту визначали згідно загальноприйнятих стандартизованих методів досліджень. Визначення кількісних показників та показників якості в процесі досліджень проводили згідно загальноприйнятих методик. Графічну та аналітичну обробку одержаних результатів експериментів здійснювали згідно з методами [1]. **Результати.** Досліджено 30 дослідних зразків термокислотної сирної маси масова частка жиру в яких складала від 29% до 32%, масова частка вологи – від 50% до 56%. Дослідження проводили на основі три факторного експерименту. Досліджуваними факторами були вибрані: масова частка жиру у молочній сировині – $X_1, \%$; температура коагуляції молочної сировини – $X_2, ^\circ\text{C}$; масова частка коагулянту, що вноситься – $X_3, \%$. Як коагулянт було вибрано підсирну сироватку з кислотністю $120 ^\circ\text{T}$ з розрахунку проміжної її дії між кислотами, що досліджувались на попередніх етапах. Лабораторні дослідження у відділі масло-та сироробства Інституту продовольчих ресурсів НААН дозволили визначити вплив основних технологічних параметрів процесу на вихід термокислотної сирної маси: за температури 95°C (від 11,4 до 13,8) кг/100кг молочної сировини; за температури 85°C (від 10,5 до 12,9) кг/100кг молочної сировини; за температури 75°C (від 9,8 до 11,9) кг/100кг молочної сировини. Отримані результати досліджень дозволяють зробити висновок, що з підвищенням температури термокислотної коагуляції білків молочної сировини процес їх денатурації посилюється і, відповідно, збільшується вихід сирної маси з одиниці сировини, що переробляється. Графоаналітичне опрацювання отриманих результатів лабораторних досліджень дозволило отримати рівняння регресії, що адекватно описує залежність виходу термокислотної сирної маси від температурних режимів коагуляції молочної сировини, дози коагулянту, що вноситься та масової частки жиру в молочній сировині. **Сфера застосування результатів.** Визначення параметрів процесу отримання термокислотної сирної маси дозволить раціоналізувати процес отримання термокислотної сирної маси, знизити витрати молочної сировини і енергетичні затрати при виробництві та розробляти науковообґрунтовані технології нових різновидів сирів термокислотних.

Ключові слова: сир термокислотний, сирна маса, температура коагуляції, технологічні параметри

INFLUENCE OF THE PARAMETERS OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS
ON THE YIELD OF THERMO-ACID CHEESE MASS

Yuriy Orlyuk, PhD, Engineering, Senior Researcher,
Head Department of Butter and Cheese Production
<https://orcid.org/0000-0003-1273-3554>
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

Subject. Technological parameters of the process of obtaining thermoacidic curd mass in the production of cheeses are among the most important factors that affect the formation of organoleptic

indicators of the finished product and indicators of its quality and safety. Determining the rational parameters of the thermoacidic curd production process allows you to adjust its activity and guarantee a finished product with specified quality and safety indicators. Purpose. It consists in the scientific substantiation of the regularities of the process of thermoacidic coagulation of proteins of milk raw materials during the production of cheese mass for the development of resource-saving technologies of new varieties of thermoacidic cheeses with increased biological value. **Methods.** Physico-chemical indicators of dairy raw materials and the finished product were determined according to generally accepted standardized research methods. Determination of quantitative indicators and quality indicators in the process of research was carried out according to generally accepted methods. Graphical and analytical processing of the experimental results was carried out according to the methods [1]. **Results.** 30 test samples of thermo-acid curd mass were studied, in which the mass fraction of fat was from 29% to 32%, the mass fraction of moisture was from 50% to 56%. The research was conducted on the basis of a three-factor experiment. The studied factors were selected: mass fraction of fat in milk raw materials – $X_1, \%$; coagulation temperature of milk raw materials – $X_2, ^\circ\text{C}$; the mass fraction of the introduced coagulant – $X_3, \%$. As a coagulant, curd whey with an acidity of 120°T was chosen based on the calculation of its intermediate effect between the acids studied in the previous stages. Laboratory studies at the butter and cheese-making department of the Institute of Food Resources of the National Academy of Sciences allowed to determine the influence of the main technological parameters of the process on the yield of thermo-acid curd mass: at a temperature of 95°C (from 11.4 to 13.8) kg/100 kg of milk raw materials; at a temperature of 85°C (from 10.5 to 12.9) kg/100 kg of milk raw materials; at a temperature of 75°C (from 9.8 to 11.9) kg/100 kg of raw milk. The obtained research results allow us to conclude that with an increase in the temperature of thermoacidic coagulation of proteins of milk raw materials, the process of their denaturation intensifies and, accordingly, the yield of curd mass from a unit of processed raw materials increases. Grapho-analytical processing of the obtained results of laboratory studies made it possible to obtain a regression equation that adequately describes the dependence of the output of thermoacidic curd mass on the temperature regimes of coagulation of milk raw materials, the dose of coagulant introduced and the mass fraction of fat in milk raw materials. **Scope of results.** Determining the parameters of the thermo-acid curd production process will allow to rationalize the thermo-acid curd production process, reduce the consumption of milk raw materials and energy costs during production, and develop science-based technologies for new types of thermo-acid cheeses.

Key words: thermal acid cheese, cheese mass, coagulation temperature, technological parameters

Постановка проблеми. Визначення раціональних параметрів процесу отримання термокислотної сирної маси є невід'ємною частиною технохімічного контролю сироробного виробництва і потребує наукового обґрунтування. Вплив технологічних параметрів процесу отримання термокислотної сирної маси (температурних режимів коагуляції молочної сировини, дози коагулянту, що вноситься та масової частки жиру в молочній сировині) в значній мірі формує склад та характеристики сиру термокислотного, що і зумовлює актуальність досліджень з їх визначення.

Відповідно до змін в структурі харчування населення країни і дефіцитом білка все більша увага приділяється питанню ощадного використання білкових ресурсів на харчові потреби, в тому числі розробки нових білкових продуктів. Повноцінність таких продуктів визначається не тільки кількістю в них білка, але і його показниками якості. Тому в харчовій галузі розвивається тенденція до збагачення харчових продуктів корисними, легкозасвоюваними білками.

Серед білкових молочних продуктів головне місце займають сири, які за своїми біологічними властивостям мають першочергове значення, вони добре засвоюються організмом людини і мають високу енергетичну цінність. Випуск сирів в нашій країні є недостатнім і не відповідає рекомендованим нормам споживання. Тому збільшення виробництва різновидів сирів є однією з основних задач молокопереробної галузі.

Основу асортименту сирів, що виробляються тривалий період становлять тверді сичужні сири у виробництві яких з молочних білків, в основному, задіяний казеїн, а водорозчинні білки залишаються в сироватці. При цьому слід зазначити, що сироваткові білки по вмісту дефіцитних незамінних амінокислот (лізину, тріптофану, метіоніну,

треоніну і цистеїну) є найбільш біологічно цінною білковою частиною, тому їх використання для харчових цілей має велике практичне значення.

У традиційному сироварінні сироваткові білки використовувати при виробництві Литовського, Ставропольського, Осетинського та інших різновидів сирів. Однак у всіх цих технологіях сироваткові білки переходять в сирну масу після їх виділення з сироватки шляхом додаткової денатурації [2, 3, 4].

У зв'язку з цим заслуговує на увагу дослідження термокислотного способу коагуляції білків молочної сировини, що базується на спільній коагуляції як казеїнів, так і всіх інших білків молочної сировини. Одночасний вплив теплового і кислотного факторів дозволяє не тільки збільшити вихід білкової складової готового продукту і підвищити його біологічну цінність, але і виключити використання дорогих молокозсідальних ферментів.

Використання такого способу коагуляції знайшло використання у виробництві «свіжих» сирів. Технологія багатьох із них пов'язана з національними традиціями. В даний час вони все ширше розповсюджуються у нас в країні і за кордоном, завдяки своїм високопоживним властивостям і економічній ефективності виробництва. Асортимент їх в світі досить широкий. Однак в нашій країні цей спосіб виробництва ще не набув достатнього розповсюдження. В Україні з використанням технології термокислотного зсідання білків молока виробляють, в основному сири типу Адигейський.

У той же час, сири зроблені з застосування термокислотної коагуляції білків молока мають ряд переваг. Вони менш вимогливі до якості молочної сировини та при їх виробництві ефективніше використовуються складові компоненти молока, в першу чергу, його білкові фракції – не тільки казеїни, але і альбуміни та глобуліни. Слід зауважити, що виробництво сирів з термокислотою коагуляцією білків молока дозволяє залучати до переробки вторинні продукти молочної сировини – знежирене молоко, маслянку, підсирну та молочну сироватку. Виробництво подібних сирів можливо організовувати на діючих молокопереробних підприємствах без додаткових капітальних вкладень. Вони мають високі споживчі характеристики (органолептичні та фізико-хімічні показники), короткий цикл виробництва, що обумовлює їх невисоку собівартість [5–8].

Проведення поглиблених досліджень щодо більш повного використання білків молочної сировини, вдосконалення і розробка технологій сирів термокислотних з підвищеною харчовою, біологічною цінністю та раціональне використання знежиреного молока, маслянки, підсирної сироватки, як вторинної молочної сировини, є актуальним і представляє науковий та практичний інтерес [9]. При розробці технологій нових різновидів сирів термокислотних доцільним є збагачення термокислотної сирної маси молочнокислою мікрофлорою шляхом ферментації, що дасть можливість не лише покращити органолептичні показники сиру та збільшити його вихід, але й підвищити його біологічну цінність [4, 10, 11]. Однак такий технологічний підхід в сироробстві потребує наукового обґрунтування параметрів технологічних процесів, зумовлює до формування певних особливостей технології виробництва нового різновиду продукту та потребує детальних наукових досліджень [11–16].

Разом з тим слід зазначити, що у формуванні більшості органолептичних та фізико-хімічних показників сирів термокислотних активну участь бере молочнокисла мікрофлора. Вона бере участь в підготовці молочної сировини до переробки, впливає на її зсідання, визначає рівень активної кислотності сирної маси, стимулює фізико-хімічні процеси при виробленні сиру, стримує розвиток сторонньої (технологічно шкідливої) мікрофлори, визначає інтенсивність і направленість процесів гідролізу лактози, ферментації білків, ліполізу молочного жиру при дозріванні сиру, впливає на його органолептичні показники, тобто бере активну участь у формуванні біологічної цінності та споживчої привабливості продукту, починаючи зі стадії обробки молока і закінчуючи дозріванням сиру.

Однак технологічні особливості сирів з термокислотою коагуляцією білків молока виключають можливість використання при їх виробленні молочнокислої мікрофлори. Висока температура обробки молока на стадії коагуляції білків призводить до її майже повної інактивації, внаслідок чого подібні сири являють собою не ферментований білково-жировий концентрат. Все це дещо знижує органолептичні показники та біологічну цінність сирів цієї групи.

Однією з актуальних проблем вітчизняного сироваріння є організація комплексного використання сировини на харчові цілі, а також збільшення випуску готової продукції з одиниці сировини на основі науково обґрунтованих ресурсозберігаючих технологій. Виходячи з цих міркувань, актуальними є проблеми використання в сироробстві білково-вуглеводних компонентів сировини, що залишилися від виробництва інших молочних продуктів. У цьому сенсі певний інтерес представляють знежирене молоко, маслянка, сироватка та підсирні вершки.

З огляду на вищевикладене, а також практичну необхідність збільшення виробництва сирів, вироблених з застосування технології термокислотної коагуляції білків молока, у відділі масло- та сироробства ІПР НААН проводяться фундаментальні науково-дослідні роботи з розробки наукових і практичних основ технологій нових різновидів сирів термокислотних.

Мета роботи. Полягає в науковому обґрунтуванні закономірностей процесу термокислотної коагуляції білків молочної сировини при отриманні сирної маси для розробки ресурсоощадних технологій нових різновидів сирів термокислотних з підвищеною біологічною цінністю.

Матеріали та методи. Предметом досліджень були молочні суміші на основі молока коров'ячого з масовою часткою жиру від 1,5% до 3,0% та підсирної сироватки з масовою часткою жиру від 0,1% до 0,5% у співвідношенні як 1,0 : 0,1 та 1,0 : 0,2. Фізико-хімічні показники молочної сировини та готового продукту визначали згідно загальноприйнятих стандартизованих методів досліджень. Визначення кількісних показників та показників якості в процесі досліджень проводили згідно загальноприйнятих методик. Графічну та аналітичну обробку одержаних результатів експериментів здійснювали згідно з методами [1].

Результати та обговорення. Завдання проведених досліджень полягало в визначенні закономірностей процесу термокислотної коагуляції білків молочної сировини при отриманні сирної маси для розробки ресурсоощадних технологій нових різновидів сирів термокислотних.

Аналіз традиційних технологій виробництва сирів з використанням термокислотної коагуляції білків молочної сировини, останніх наукових досліджень у цьому напрямі, а також результатів попередніх власних досліджень вказує, що найбільш вагомими технологічними параметрами допустимо вважати температуру коагуляції, масову частку (дозу) коагулянту, що вноситься, а також склад молочної сировини, що переробляється.

Для визначення вагомими технологічними параметрами процесу термокислотної коагуляції білків молочної сировини проводили лабораторні дослідження на основі трифакторного експерименту, досліджуваними факторами були вибрані:

- масова частка жиру молочної сировини – $X_1, \%$;
- температура коагуляції молочної сировини – $X_2, ^\circ\text{C}$;
- масова частка коагулянту, що вноситься – $X_3, \%$.

В якості коагулянту було вибрано підсирну сироватку з титрованою кислотністю 120^0T з урахуванням її проміжної дії між кислотами, які досліджувались на попередніх етапах. Діапазон досліджуваних факторів встановлювали на підставі проведених попередніх дослідів. Масова частка жиру молочної сировини варіювала від 3,0% до 1,0%, температура коагуляції молочної сировини – від 75^0C до 95^0C та доза коагулянту з титрованою кислотністю 120^0T – від 3,0% до 5,0%. Графоаналітичне опрацювання

результатів лабораторних досліджень дозволило отримати графічні залежності виходу термокислотної сирної маси (Y_1) від температури коагуляції молочної сировини – X_2 , масової частки (дозы) коагулянту, що вносився – X_3 та масової частки жиру у молочній сировині – X_1 (рис.1).

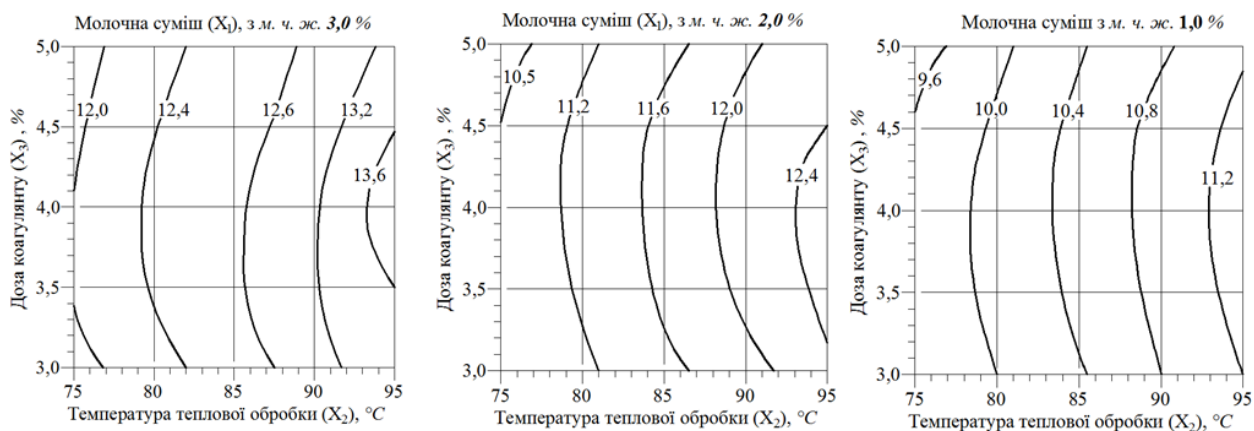


Рис. 1. Залежність виходу термокислотної сирної маси (Y_1) від температури коагуляції молочної сировини (X_2), дози внесенного коагулянту (X_3) та масової частки жиру молочної суміші X_1

Отримані результати досліджень вказують, що зниження масової частки жиру в молочній сировині суттєво впливає на вихід термокислотної сирної маси. Для молочної сировини з масовою часткою жиру 3,0% його значення становили (від 11,7 до 13,6) *кг/100кг молочної сировини*, для молочної сировини з масовою часткою жиру 2,0% – (від 10,6 до 12,5) *кг/100кг молочної сировини* та для молочної сировини з масовою часткою жиру 1,0% – (від 9,5 до 11,4) *кг/100кг молочної сировини*.

Наступні дослідження та графоаналітичне опрацювання отриманих результатів дозволили визначити графічну залежність виходу термокислотної сирної маси (Y_1) від масової частки жиру у молочній сировині – X_1 , дози коагулянту, що вносився – X_3 за температури коагуляції молочної сировини X_2 – від 95°C до 75°C (рис.2).

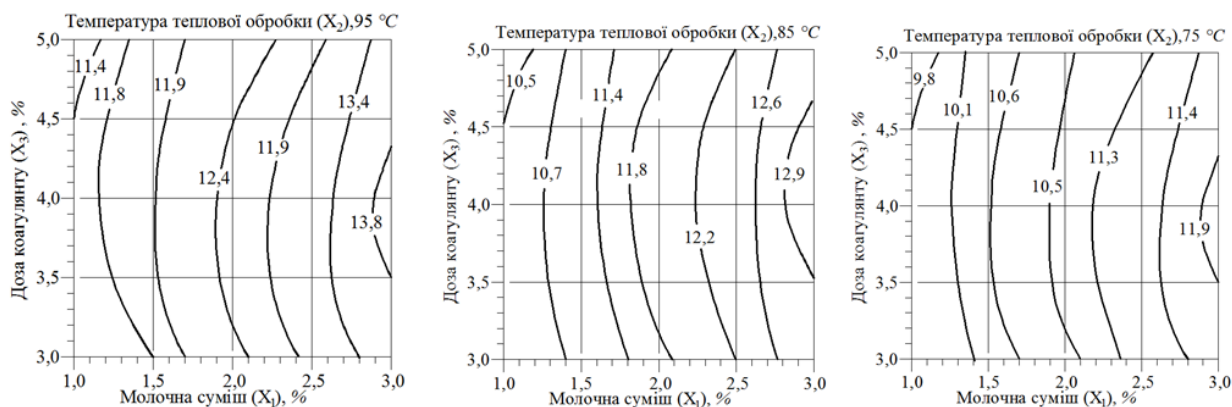


Рис. 2. Залежність виходу термокислотної сирної маси (Y_1) від масової частки жиру молочної сировини (X_1), дози внесенного коагулянту (X_3) за температури теплової обробки молочної суміші (X_2)

Отримані результати досліджень вказують, що у середньому, зі зниженням температури коагуляції молочної сировини з 95°C до 85°C вихід термокислотної сирної маси зменшився, в середньому, на 7,2%, а з 95°C до 75°C – на 13,9% та становив:

- за температури 95°C (від 11,4 до 13,8) *кг/100кг молочної сировини*;
- за температури 85°C (від 10,5 до 12,9) *кг/100кг молочної сировини*;
- за температури 75°C (від 9,8 до 11,9) *кг/100кг молочної сировини*.

Графоаналітичне опрацювання результатів досліджень впливу дози коагулянту, що вносився – X_3 на вихід термокислотної сирної маси (Y_1) за температури коагуляції молочної сировини X_2 в діапазоні температур від 95°C до 75°C та масової частки жиру в молочній сировині X_1 (рис. 3).

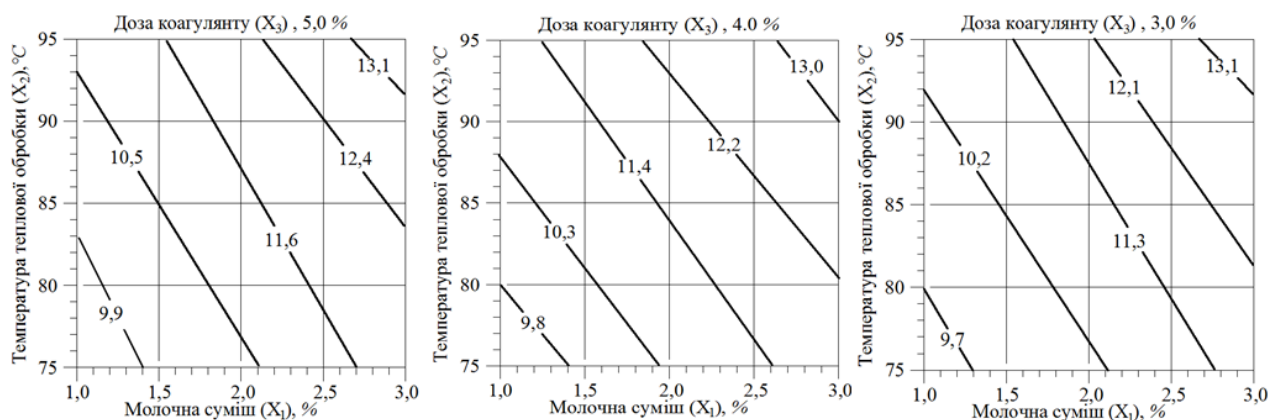


Рис. 3. Залежність виходу термокислотної сирної маси (Y_1) від масової частки жиру молочної суміші (X_1), за температури теплової обробки молочної суміші (X_2) та дози внесенного коагулянту (X_3)

Отримані результати досліджень щодо залежності виходу термокислотної сирної маси від дози внесенного коагулянту є несуттєвою. Так, збільшення дози коагулянту (з 4,0 до 5,0)%, у середньому, знизило вихід термокислотної сирної маси менше ніж на 1,0%, тоді як при зниженні дози коагулянту з 4,0% до 3,0% вихід термокислотної сирної маси практично не змінився.

В процесі термокислотної коагуляції молочної сировини залежність виходу термокислотної сирної маси від вагомих технологічних параметрів допустимо описувати функцією виду (1) [3]:

$$B = f(d, t) \quad (1)$$

де: B – вихідний параметр експерименту;

d, t – основні фактори впливу на процес.

Апроксимація функції (1) лінійною функцією дозволила отримати рівняння регресії (2) яке адекватно описує залежність виходу термокислотної сирної маси від вагомих технологічних параметрів.

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 \quad (2)$$

де: Y – значення виходу процесу;

a_0, a_1, a_2, a_3 – коефіцієнти регресії;

X_1, X_2, X_3 – вихідні параметри моделі.

Аналітичне опрацювання отриманих результатів лабораторних досліджень дозволило визначити вихідні параметри моделі три факторного експерименту та отримати наступне рівняння регресії:

$$Y_1 = 2,49 + 11,1X_1 + 1,88X_2 + 0,0005X_3^2 \quad (3)$$

де: Y_1 – вихід термокислотної сирної маси, кг/кг молочної сировини.

Висновки. Визначено вагомі технологічні параметри процесу термокислотної коагуляції білків молочної сировини, отримані результати досліджень вказують, що у середньому, зі зниженням температури коагуляції з 95°C до 85°C вихід термокислотної сирної маси зменшився, в середньому, на 7,2%, а з 95°C до 75°C – на 13,9%. Отримані результати досліджень дозволяють зробити висновок, що з підвищенням температури термокислотної коагуляції білків молочної сировини процес їх денатурації посилюється і,

відповідно, збільшується вихід сирної маси з одиниці сировини, що переробляється. Графоаналітичне опрацювання отриманих результатів лабораторних досліджень дозволило отримати рівняння регресії, що адекватно описує залежність виходу термокислотної сирної маси від температурних режимів коагуляції молочної сировини, дози коагулянту, що вноситься та масової частки жиру в молочній сировині.

Бібліографія

1. Ryan T. P. *Modern Regression Methods*. New York: Wiley, 1997. 327 p.
2. Kosikovski F. V., Mistry V. V. *Cheese and Fermented Milk Foods*. Westport. 1997. Origins and Principles. Vol. 2. 330 p.
3. Орлюк Ю. Т. Біохімічні характеристики сирної маси твердих сирів. *Продовольчі ресурси*. 2020. № 15. С. 158–165. <https://doi.org/10.31073/foodresources 2020-15-17>.
4. Orlyuk Yu., Stepanishev M. Assessment of proteolysis and lipolysis intensity in Pechersky cheese ripening in the presence of *Penicillium camamberti* and *Penicillium roqueforti* molds. *Foods and raw materials Kemerovo Institute of science and technology*. Kemerovo. 2014. Vol. 2 (№1). P. 36–39. <http://doi.org/10.12737/4128>.
5. Орлюк Ю. Т. Експрес метод визначення масової частки солі кухонної в сирній масі твердих сирів. *Продовольчі ресурси*. 2021. № 16. С. 158–165. <https://doi.org/10.31073/foodresources 2021-16-14>.
6. Fox P. F., McSweeney P. L. H., Cogan T. M. *Cheese: chemistry, physics and microbiology*. Oxford: Elsevier, 2004. V. II. 434 p.
7. Lucey J. A. Formation and physical properties of milk protein gels. *J. Dairy Sci.* 2002. 85. P. 281–294.
8. Gobetti M., Lanciotti R., de Aangelis M., Corbo M. Study of the effects of temperature, pH and NaCl on the proteolytic and lipolytic activities of cheese-related lactic acid bacteria by quadratic response surface methodology. *Enzyme Microb. Technol.* 1999. 259 p.
9. Gobetti M., Lanciotti R., de Aangelis M., Corbo M. Study of the effects of temperture, pH and NaCl on the peptidase activities of non-starter lactic acid by quadratic response surface methodology. *Int. Dairy J.* 1999. V. 9. P. 865–875.
10. Орлюк Ю. Т., Калмикова Г.Ф. Вплив різних реагентів на вихід сирної маси при термокислотній коагуляції білків молока. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С. З. Жицького*. 2009. Т. 11, № 3 (42). С. 264–268.
11. Toppino P. M., Campagnol L., Carminati D., Mucchetti G., Povolo M., Benedetti S., Riva M. Shelf life study of packed industrial ricotta cheese. *Ital. J. Food Sci.* 2004. Special Issue. P. 252–266.
12. Paskaš S., Miočinović J., Savić M., Ješić G., Rašeta M., Becskei Z. Comparison of the chemical composition of whey cheeses: Urda and ricotta. *Maced. Vet. Rev.* 2019. 42. P.151–161.
13. Mucchetti G., Carminati D., Pirisi A. Ricotta fresca vaccina ed ovina: Osservazioni sulle tecniche di produzione e sul prodotto. *Il Latte* 2002. 27. P. 154–166.
14. Bergamaschi M., Cipolat-Gotet C., Stocco G., Valorz C., Bazzoli I., Sturaro E., Ramanzin M., Bittante G. Cheesemaking in highland pastures: Milk technological properties, cream, cheese and Ricotta yields, milknutrients recovery, and products composition. *J. Dairy Sci.* 2016. 99. P. 9631–9646.
15. Tripaldi C., Rinaldi S., Palocci G., Giovanni S., Campagna M.C., Russo C., Zottola T. Chemical and microbiological characteristics of homogenised Ricotta cheese produced from buffalo whey. *Ital. J. Food Sci.* 2020. 32. P. 292–309.
16. Spanu C., Scarano C., Piras F., Spanu V., Pala C., Casti D., Lamon S., Cossu F., Ibba M., Nieddu G., Santis E. Testing commercial biopreservative against spoilage microorganisms in MAP packed Ricotta fresca cheese. *Food Microbiol.* 2017. 66. P. 72–76.
17. QianF., Sun J., Cao D., Tuo Y., Jiang S., Mu G. Experimental and modelling study of the denaturation of milk protein by heat treatment. *Korean J. Food Sci.* 2017. 37. P. 44–51.
18. Vasilakis G., Karayannis D., Massouras T., Politis I., Papanikolaou, S. Biotechnological Conversions of Mizithra Second Cheese Whey by Wild-Type Non-Conventional Yeast Strains: Production of Yeast Cell Biomass, Single-Cell Oil and Polysaccharides *Appl. Sci.* 2022. 12 (22), 11471; <https://doi.org/10.3390/app122211471>
19. Ortiz L.C., Darré M., Ortiz C.M., Massolo J.F., Vicente A.R. Quality and yield of Ricotta cheese as affected by milk fat content and coagulant type *International Journal of Dairy Technology*. 2017. No 2. P. 340–346.

References

1. Ryan, T. P. (1997). *Modern Regression Methods*. New York: Wiley, 327 p.
2. Kosikovski, F. V., Mistry, V. V. (1997). *Cheese and Fermented Milk Foods*. Westport. 330 p. (Origins and Principles; Vol. 2).
3. Orliuk, Yu. T. (2020). Biokhimichni kharakterystyky syrnoi masy tverdykh syriv. [Biochemical characteristics of curd mass of hard cheeses]. *Prodovolchi resursy* [Food resources]. № 15. 158–165. <https://doi.org/10.31073/foodresources 2020-15-17>. [in Ukraine].
4. Orlyuk, Yu., Stepanishev, M. Assessment of proteolysis and lipolysis intensity in Pechersky cheese ripening in the presence of *Penicillium camamberti* and *Penicillium roqueforti* molds. *Foods and raw materials Kemerovo Institute of science and technology*. Kemerovo. 2014. Vol. 2 (№1). P. 36–39. <https://doi.org/10.12737/4128>.
5. Orlyuk, Yu. T. (2021). Ekspres metod vyznachennia masovoi chastky soli kukhonnoi v syrni masi tverdykh syriv. [Express method of determining the mass fraction of table salt in the curd mass of hard cheeses]. *Prodovolchi resursy* [Food resources]. № 116. P.158–165. <https://doi.org/10.31073/foodresources 2021-16-14>. [in Ukraine].
6. Fox, P. F., McSweeney, P. L. H., Cogan. T. M. *Cheese: chemistry, physics and microbiology*. Oxford: Elsevier, 2004. V. II. 434 p.
7. Lucey, J. A. Formation and physical properties of milk protein gels. *J. Dairy Sci.* 2002. 85. P. 281–294.
8. Gobetti, M., Lanciotti, R., de Aangelis, M., Corbo, M. Study of the effects of temperature, pH and NaCl on the proteolytic and lipolytic activities of cheese-related lactic acid bacteria by quadratic response surface methodology. *Enzyme Microb. Technol.* 1999. 259 p.
9. Gobetti, M., Lanciotti, R., de Aangelis, M., Corbo, M. Study of the effects of temperature, pH and NaCl on the peptidase activities of non-starter lactic acid bacteria (NSLAB) by quadratic response surface methodology. *Int. Dairy J.* 1999. V. 9. P. 865–875.
10. Orlyuk, Y. T., Kalmykova, H. F. (2009). Vplyv riznykh reahentiv na vykhid syrnoi masy pry termokyslotnii koahuliatsii bilkiv moloka. [The influence of various reagents on the yield of curd mass during thermoacidic coagulation of milk proteins]. *Naukovyi visnyk LNUVMBT imeni S. Z. Hzyhskoho*. V. 11, № 3 (42). P. 264–268. [in Ukrainian].
11. Toppino, P. M., Campagnol, L., Carminati, D., Mucchetti, G., Povolo, M., Benedetti S., Riva, M. Shelf life study of packed industrial ricotta cheese. *Ital. J. Food Sci.* 2004. Special Issue. P. 252–266.
12. Paskaš, S., Miočinović, J., Savić, M., Ješić, G., Rašeta, M., Becskei, Z. Comparison of the chemical composition of whey cheeses: Urda and ricotta. *Maced. Vet. Rev.* 2019. 42. P.151–161.
13. Mucchetti, G., Carminati, D., Pirisi, A. Ricotta fresca vaccina ed ovina: Osservazioni sulle tecniche di produzione e sul prodotto. *Il Latte* 2002. 27. P. 154–166.
14. Bergamaschi, M., Cipolat-Gotet, C., Stocco, G., Valorz, C., Bazzoli, I., Sturaro, E., Ramanzin, M., Bittante, G. Cheesemaking in highland pastures: Milk technological properties, cream, cheese and Ricotta yields, milknutrients recovery, and products composition. *J. Dairy Sci.* 2016. 99. P. 9631–9646.
15. Tripaldi, C., Rinaldi, S., Palocci, G., Giovanni, S., Campagna, M. C., Russo, C., Zottola, T. Chemical and microbiological characteristics of homogenised Ricotta cheese produced from buffalo whey. *Ital. J. Food Sci.* 2020. 32. P. 292–309.
16. Spanu, C., Scarano, C., Piras, F., Spanu, V., Pala, C., Casti, D., Lamon, S., Cossu, F., Ibba M., Nieddu, G., Santis, E. Testing commercial biopreservative against spoilage microorganisms in MAP packed Ricotta fresca cheese. *Food Microbiol.* 2017. 66. P. 72–76.
17. Qian, F., Sun, J., Cao, D., Tuo, Y., Jiang, S., Mu G. Experimental and modelling study of the denaturation of milk protein by heat treatment. *Korean J. Food Sci.* 2017. 37. P. 44–51.
18. Vasilakis, G., Karayannis, D., Massouras, T., Politis I., Papanikolaou, S. Biotechnological Conversions of Mizithra Second Cheese Whey by Wild-Type Non-Conventional Yeast Strains: Production of Yeast Cell Biomass, Single-Cell Oil and Polysaccharides *Appl. Sci.* 2022. 12 (22), 11471. <https://doi.org/10.3390/app122211471>.
19. Ortiz, L. C., Darré, M., Ortiz, C. M., Massolo, J. F., Vicente A. R. Quality and yield of Ricotta cheese as affected by milk fat content and coagulant type *International Journal of Dairy Technology*. 2017. № 2. P. 340–346.

УДК 663.051.4

ОСОБЛИВОСТІ ЕКСТРАКЦІЇ ГІПЕРФОРИНУ ІЗ ТРАВИ ЗВІРОБОЮ ЗВИЧАЙНОГО (*HYPERICUM PERFORATUM L.*)

Поштаренко А. В.¹, к. т. н., доцент кафедри біотехнології
<https://orcid.org/0000-0002-3999-4474>

Супрунук М. В.¹, магістр кафедри біотехнології
<https://orcid.org/0009-0002-6126-9276>

Решетняк Л. Р.¹, к. т. н., доцент кафедри біотехнології
<https://orcid.org/0000-0002-0049-4851>

Данілова К. О.², к. т. н., с. н. с., учений секретар інституту?
<https://orcid.org/0000-0001-6204-9975>

¹Національний авіаційний університет, Київ, Україна

²Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-16>

Предмет. Звіробій продірявлений, або звичайний (*Hypericum perforatum L.*) належить до лікарських рослин, відноситься до родини Звіробоеві (*Hypericaceae*). Комерційний попит на гіперфорин призвів до збільшення досліджень стосовно особливостей його екстракції зі звіробою звичайного за допомогою різних екстрагентів. Через нестабільність умов екстракції досить важко дослідити закономірності накопичення гіперфорину в рослинній сировині. **Мета.** Дослідження вмісту гіперфорину із звіробою звичайного при різних параметрах екстракції та при використанні різних екстрагентів. **Методи.** Визначення оптичної густини отриманих екстрактів із звіробою звичайного проводили на фотокolorиметрі КФК-3 (Україна) з подальшим перерахунком на гіперфорин. **Результати.** Екстракцію гіперфорину із звіробою звичайного проводили за допомогою гексану та етилового спирту різної концентрації. Отримані результати фотокolorиметрії екстрактів показали, що оптимальними умовами екстракції похідних гіперфорину із трави звіробою звичайного є 60-хвилинна екстракція гексаном при співвідношенні сировини і розчинника 1:100 з вмістом похідних гіперфорину 1,100%. Серед спиртових екстрактів найкращими умовами екстракції похідних гіперфорину зі звіробою звичайного була 60-хвилинна екстракція 80% розчином етилового спирту при співвідношенні сировини і розчинника 1:100 з вмістом похідних гіперфорину 0,437%. **Сфера застосування результатів.** Результати досліджень можуть бути використані для розробки харчових продуктів функціонального призначення або нових лікарських засобів із трави звіробою звичайного.

Ключові слова: екстракція, звіробій звичайний, гіперфорин, гексан, етиловий спирт, оптична густина

FEATURES OF THE EXTRACTION OF HYPERFORIN FROM THE SAINT-JOHN'S WORT HERBS (*HYPERICUM PERFORATUM L.*)

Anna Poshtarenko¹, PhD, Engineering,
Associate Professor of the Department of Biotechnology
<https://orcid.org/0000-0002-3999-4474>

Myroslava Suprunyuk¹, Student
<https://orcid.org/0009-0002-6126-9276>

Liudmyla Reshetnyak¹, PhD, Engineering,
Associate Professor of the Department of Biotechnology
<https://orcid.org/0000-0002-0049-4851>

Kateryna Danilova², PhD, Engineering, Senior Researcher,
Learned Secretary of Institute

¹National Aviation University, Kyiv, Ukraine

²Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

Subject. *Hypericum perforatum L.* belongs to medicinal plants, belongs to the family of *Hypericaceae*. The commercial demand for hyperforin has led to increased research on the specifics of its extraction with St. John's wort using various extractants. Due to the instability of the extraction conditions, it is rather difficult to investigate the patterns of hyperforin accumulation in plant material. **Purpose.** Study of the content of hyperforin with St. John's wort at different extraction parameters and

when using different extractants. **Methods.** Determination of the optical density of the obtained extracts with *St. John's wort* was carried out on a photocolormeter KFK-3 (Ukraine) with subsequent conversion to hyperforin. **Results.** Extraction of *St. John's wort* to obtain hyperforin was carried out using hexane and ethyl alcohol of different concentrations. The obtained results of photocolormetry of the extracts showed that the optimal conditions for the extraction of hyperforin derivatives from *St. John's wort* are 60-minute extraction with hexane at a ratio of raw materials and solvent of 1:100 with a content of hyperforin derivatives of 1.100%. Among alcohol extracts, the best conditions for the extraction of hyperforin derivatives from *St. John's wort* were a 60-minute extraction with an 80% solution of ethyl alcohol at a ratio of raw materials and solvent of 1:100 with a content of hyperforin derivatives of 0.437%. **Scope of results.** The results of the research will be used to develop functional food products or new medicines from the herb *Hypericum Perforatum L.*

Key words: extraction, *Hypericum perforatum L.*, hyperforin, hexane, ethyl alcohol, optical density

Постановка проблеми. *Hypericum perforatum L.* широко відомий як звіробій, має багату історичну історію як один із найдавніших і найбільш широко вивчених рослинних лікарських засобів. Гіперфорин є основною антидепресивною діючою речовиною звіробою. В останні роки гіперфорину приділяється все більша увага через його численні фармакологічні властивості, включаючи антидепресивну, протипухлинну, деменцію, діабет та інші. Його можна отримати під час процесу екстракції та синтезу. Фармакологічні дослідження та більш точні методи виявлення допоможуть в подальшому систематизувати знання щодо гіперфорину. Крім того, структурна модифікація та технологія фармацевтичного приготування будуть сприяти розвитку досліджень інноваційних препаратів на основі гіперфорину [1].

Гіперфорин зазвичай міститься в рослинах родини *Hypericum*, а вміст гіперфорину в звіробої є значним. Крім того, гіперфорин був також виявлений у *H. montbretii Spach*, *H. perforatum L.*, *H. hirsutum L.*, *H. nummularioides Trautv.*, *H. bithynicum Boiss.*, *H. Xylosteifolium* та *H. androsaemum L.* Вміст гіперфорину у *H. montbretii Spach* та *H. Perfoliatum* подібний до такого у звіробою. [1]

Звіробій звичайний – багаторічна рослина, висота якої коливається в межах 25–100 см. Стебло рослини двогранне, у верхній частині розгалужується. Звіробій покритий супротивними листками овальної або яйцевидної форми, їхня довжина – 1,5–3 см. Квітки рослини п'ятичленні, зібрані в щитовидні суцвіття, їхнє забарвлення варіюється від жовтого до помаранчевого. З лікувальною метою використовують траву рослини, зібрану в період цвітіння звіробою, який припадає на червень–серпень [2].

Відрізнити траву від інших рослин можна за кількома ознаками. Якщо розглядати проти світла молоде листя звіробою, можна відзначити маленькі крапки, немов вони були продірявлені. Другою відмінною ознакою є зміна забарвлення квіток рослини, якщо їх зім'яти в руках. З жовтого вони стають криваво-червоними. Ще однією особливістю звіробою стало будова стебла – на відміну від більшості рослин, воно двогранне [3].

Звіробій містить в собі дубильні речовини (10–12%), флавоноїди (гіперозид, рутин, кверцитрин, мірицетин, лейкоантоціани), сапоніни, барвники (гіперидин – 0,1–0,4%, псевдогіперидин, гіперин, франгулаемодинантраол), олію ефірну (0,2–0,3%), речовини смолисті (17%), каротин, кислоту аскорбінову [4]. Поєднання перерахованих речовин забезпечує протизапальну і легку протимікробну дію разом зі здатністю подразнювати стінки слизової, що стимулює секрецію внутрішніх органів. Здатність загоювати рани та дезінфікувати їх дозволяє використовувати компреси зі звіробою для лікування інфікованих ран. Вони можуть застосовуватися для кровоточивих ран, оскільки у складі трави присутні в'язучі інгредієнти.

Трава звіробою входить до складу численних зборів, схвалених для використання в лікуванні захворювань шлунково-кишкового тракту. Його також включають до складу дієтичних добавок і косметичних засобів. Звіробою властивості комплексні, ними обумовлена популярність цієї рослини – чаї, настої та відвари з неї впливають на нервову, травну і сечовидільну систему.

З 450 видів звіробоя в Україні поширені всього 12. Для лікарських цілей з них підходять два види – звіробій звичайний і чотиригранний, або плямистий звіробій. Ці рослини мають оптимальний склад і концентрацію корисних речовин, тоді як інші види можуть поєднувати в собі мінімальне співвідношення лікувальних властивостей [3].

Рослина поширена повсюдно, зустрічається на узбіччях доріг, у чагарниках, на пустирях і лісових галявинах, насипах, надає перевагу як листяним, так і мішаним лісам лісостепу, також зустрічається в степовій зоні. Для поширення йому необхідні сухі ґрунти. При вирощуванні рослини для лікарських цілей необхідно враховувати її здатність швидко виснажувати ґрунт, тому її потрібно регулярно удобрювати [5].

Заготівля трави проводиться в суху ясну погоду, щоб уникнути псування сировини від вологи. Готовність рослини до збору визначають за станом плодів, які повинні бути незрілими. Для заготівлі зрізають верхню частину рослини довжиною не більше 25–30 см. Зрізають її за допомогою ножа або секатора.

Зібрану сировину сушать під навісом або на горищі при температурі, яка не перевищує 40 С. Для цього траву можна розкласти тонким шаром на папері або тканині чи пов'язувати в пучки. Готовність сировини визначається за її ламкістю. Зберігати її можна 3 роки. [6]

Звіробій готують у вигляді настоїв для обробки рота при стоматитах, кровоточивості ясен, запальних процесах. Відвар рослини дозволяє позбутися неприємного запаху з рота, усунути кровоточивість ясен. Він може застосовуватися як профілактичний засіб для запобігання пародонтиту.

Екстракт виготовляють із лікарської рослинної сировини підходящим методом, використовуючи етанол (50–80%, об/об) або метанол (50–80%, об/об). [7, с. 165].

Діючі речовини трави звіробоя представлені декількома групами природних з'єднань, серед яких виділяють флавоноїди, антраценпохідні, а також гіперфорин та його похідні. Фармакопея України передбачає стандартизацію трави звіробоя за вмістом суми флавоноїдів [7, с. 162], Європейська фармакопея стандартизує траву звіробоя звичайного за вмістом суми похідних антрацену [8]. За вмістом гіперфорину, який володіє антибактеріальною активністю, стандартизуються тільки деякі комерційні екстракти звіробоя, які призначені для виробництва біологічно активних добавок. З іншого боку, похідні гіперфорину описані тільки для одного виду звіробоя, отримання екстрактів якого передбачає використання в якості екстрагенту гексану.

Вміст гіперфорину в різних частинах рослин *Hypericum* і на різних стадіях росту неоднаковий. Вміст гіперфорину, накопиченого в стеблах і листі, значно нижчий, ніж у зелених коробочках і повністю розкритих квітках (табл.1) [1].

Таблиця 1
Вміст похідних гіперфорину в різних органах *H. perforatum*

Трава	Листя	Квітки
1,3	1,2	2,8

Проблема полягає в тому, що гіперфорин – одна із цінних речовин звіробоя, але його нестабільність створює певні труднощі при вилученні, розділенні та виявленні. Через нестабільність умов екстракції досить важко дослідити закономірності вилучення гіперфорину із звіробоя звичайного. Використовуючи різні екстрагенти та змінюючи умови екстракції можна дослідити оптимальний вміст гіперфорину в рослинній сировині.

Метою роботи є кількісне визначення та порівняння вмісту гіперфорину із звіробоя звичайного в гексановому та етилових екстрактах різної концентрації при певних умовах екстракції.

Матеріали та методи. В якості об'єкта дослідження використовували екстракти із звіробоя звичайного компанії «Ліктрави» (м. Житомир, Україна), отримані на основі етилового спирту концентрацією 20, 40, 60 та 80% та гексану.

Нами була обрана методика кількісного визначення гіперфорину та його похідних, яка полягала в тому, що аналітичну пробу сировини подрібнюють до розміру 1 мм. 1 г

сировини поміщають в колбу об'ємом 250 мл, додають 100 мл відповідного екстрагента. Колбу витримують в темному місці 30 та 60 хв, фільтрують через паперовий фільтр в мірну колбу об'ємом 100 мл, доводячи об'єм розчину до мітки відповідним екстрагентом.

Отриманий розчин в кількості 5 мл вносять в мірну колбу об'ємом 25 мл та доводять об'єм розчину до мітки відповідним екстрагентом. Визначення оптичної густини отриманих екстрактів проводили на фотоколориметрі КФК-3 (Україна) з кюветою товщиною шару 10 мм при довжині хвилі 278 нм, використовуючи в якості розчину порівняння відповідний екстрагент.

Результати та обговорення. Розчинники впливають на стабільність гіперфорину. У протонних розчинниках гіперфорин стабільний, але в *n*-гексані та інших інертних розчинниках він нестійкий. У *n*-гексані два ізомери фуругіперфорину є основними продуктами розпаду. рН розчинів також впливає на стабільність гіперфорину. Встановлено, що гіперфорин є більш стабільним у кислому середовищі, ніж у нейтральному, при екстрагуванні на світлі. Підкислений розчин метанолу є більш дієвим для підтримки стабільності гіперфорину, ніж розчин метанолу окремо. Крім того, 1% аскорбінової кислоти та 0,1% лимонної кислоти можна використовувати як антиоксиданти для підтримки його стабільності. [1]

Ультрафіолетовий (УФ) спектр гіперфорину залежить від значень рН навколишнього середовища. Однак при 270 нм на реакцію гіперфорину значення рН не впливає сильно. Варто відзначити, що на стабільність гіперфорину впливає його особлива структура. Гіперфорин нестійкий до світла і легко окислюється. Висушені рослинні матеріали втрачають 20% гіперфорину протягом 2 годин впливу сонячного світла (24 Е/м²). Експозиція екстракту сонячним світлом протягом 5 хвилин (1 Е/м²) призводить до 96% втрати гіперфорину. Гіперфорин є нестабільним при температурі повітря 40°C, де утворюються два основних продукти розпаду (фуругіперфорин і гідропероксид фуругіперфорину). [1]

В роботі було використано спектрофотометричний метод, який базується на вибірковій екстракції гіперфорину та його похідних гексаном та етиловим спиртом, вимірюванні оптичної густини отриманих екстрактів при 278 нм і використанні для розрахунків молярного показника поглинання гіперфорину при даній довжині хвилі.

Було визначено оптимальні умови екстракції гіперфорину і його похідних по відношенню сировини до екстрагенту (табл. 2).

Таблиця 2

Залежність виходу похідних гіперфорину із трави *Hypericum perforatum* L. від типу екстрагента та умов екстракції

Співвідношення сировини (г) – екстрагент (см ³)	Час екстракції, хв	Вміст суми похідних гіперфорину в перерахунку на гіперфорин, %
Гексан (1:100)	30 хв (20 °C)	1, 000
	60 хв (20 °C)	1,100
Етиловий спирт 20% (1:100)	30 хв (20 °C)	1,326
	60 хв (20 °C)	1,339
Етиловий спирт 40% (1:100)	30 хв (20 °C)	1,294
	60 хв (20 °C)	1, 459
Етиловий спирт 60% (1:100)	30 хв (20 °C)	1,349
	60 хв (20 °C)	1,365
Етиловий спирт 80% (1:100)	30 хв (20 °C)	1,504
	60 хв (20 °C)	1,518

Отримані результати фотоколориметрії показали, що оптимальними умовами екстракції похідних гіперфорину із трави звіробоя звичайного є 60-хвилинна екстракція

80% розчином етилового спирту при співвідношенні сировини і розчинника 1:100, з можливістю отримання похідних гіперфору 1,518%. Серед гексанових екстрактів найкращими умовами екстракції похідних гіперфору зі звіробоя звичайного була 60-хвилинна екстракція при співвідношенні сировини і розчинника 1:100, дало змогу отримати похідних гіперфору 1,100%.

Для додаткового підтвердження наявності гіперфору в екстрактах *H. perforatum* нами були встановлені УФ-спектри гексанових та спиртових екстрактів (рис.1).

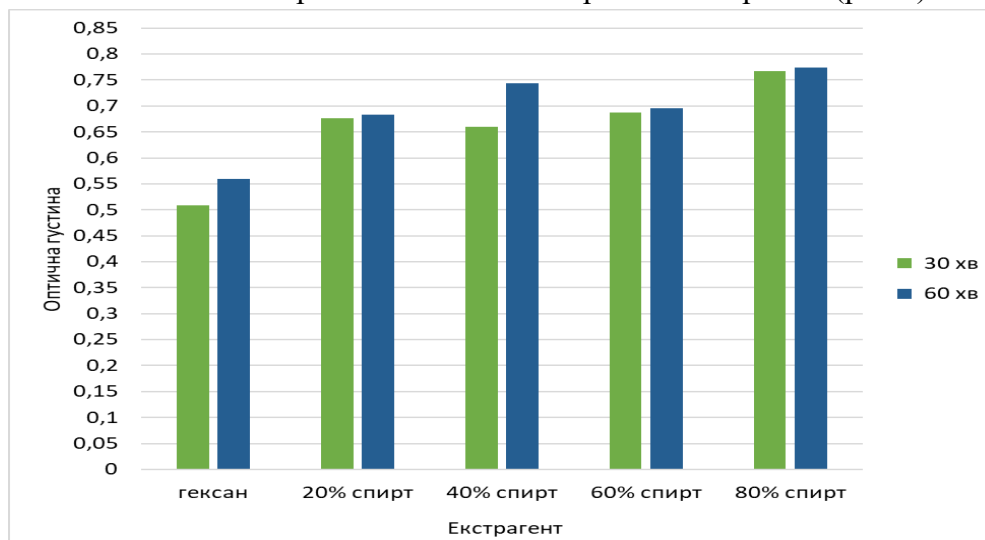


Рис. 1. УФ-спектри гексанових та спиртових екстрактів при 278 нм

Отримані УФ-спектри стали ще одним підтвердженням того, що УФ-спектр екстракту із 80% етилового спирту має чітко виражений максимум при тривалості екстракції 60 хв, тоді як у гексановому екстракті він був мінімальний.

Висновки. Гіперфорин – основна діюча речовина лікарської трави – *Hypericum perforatum* L. Його унікальна хімічна структура та біологічна активність привертають увагу багатьох вчених. Нестабільність гіперфору до світла, температури, екстрагентів створює певні труднощі для його вилучення, розділення та виявлення.

Кількісне визначення похідних гіперфору із трави звіробоя звичайного в 80% розчині етилового спирту показало, що найкращими умовами екстракції є 60-хвилинна екстракція при кімнатній температурі у співвідношенні сировини до екстракту 1:100 з виходом гіперфору 1,518%.

Умовами оптимальної екстракції з найбільшим виходом похідних гіперфору із звіробоя звичайного в кількості 1,1% серед гексанових екстрактів є 60-хвилинна екстракція при співвідношенні сировини до спирту 1:100.

Встановлено залежність виходу гіперфору із трави звіробоя звичайного від типу екстрагента та умов проведення процесу екстракції, яка показує, що найкращим екстрагентом гіперфору є етиловий спирт, а саме 80% його розчин, тривалість екстракції 60 хв при кімнатній температурі.

Дані фармакокінетичні дослідження можуть бути використані для розробки харчових продуктів функціонального призначення або нових лікарських засобів із звіробоя звичайного.

Бібліографія

1. Xin-Xin Li, Yu Yan, Jia Zhang, Kang Ding, Cong-Yuan Xia, Xue Ge Pan, Yan-Jing Shi, Jie-Kun Xu, Jun He, Wei-Ku Zhang (2023). Hyperforin: A natural lead compound with multiple pharmacological activities. *Phytochemistry*. Volume 206. February 2023. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2022.113526> (дата звернення 20.09.2024).

2. Звіробой трава. Ліктрави. <https://liktravy.ua/herbs/zviroboju-trava> (дата звернення 20.09.2024).

3. Лебеда А. П., Джуренко Н. І., Ісайкіна О. П. та ін. Лікарські рослини: Енциклопедичний довідник: за ред. Гродзінського А. М. К.: Видавництво «Українська Енциклопедія» ім. М. П. Бажана, Український виробничо-комерційний центр «Олімп», 1992. 544 с.

4. Кобзар А. Я. Фармакогнозія в медицині: навчальний посібник. К: Всеукраїнське спеціалізоване видавництво «Медицина». 2007, 544 с.

5. Калініна М. А., Шевченко Т. Л. Вплив регуляторів росту на ріст і розвиток деяких лікарських рослин. Лікарське рослинництво: від досвіду минулого до новітніх технологій: матеріали шостої Міжнародної науково-практичної конференції, м. Полтава : Комунальне видавництво «Лубни», 2018. 268 с.

6. Біленко В. Г., Якубенко Б. Є. Лікарські рослини: технологія вирощування та використання: довідник. Житомир: ПП «Рута», 2015. 600 с.

7. Державна Фармакопея України. 2-е вид. Доповнення 2. Харків: Державне підприємство «Український науковий фармакопейний центр якості лікарських засобів», 2018. 600 с. ISBN 978-966-97390-3-2.

8. European Pharmacopoeia, 5th ed. Sup. 5.6. Strasbourg, 2005.

References

1. Xin-Xin Li, Yu Yan, Jia Zhang, Kang Ding, Cong-Yuan Xia, Xue Ge Pan, Yan-Jing Shi, Jie-Kun Xu, Jun He, Wei-Ku Zhang (2023). Hyperforin: A natural lead compound with multiple pharmacological activities. *Phytochemistry*. Volume 206. February 2023. <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2022.113526>

2. Zviroboyu trava. [St. John's wort grass] Liktravy [medicinal herbs]. <https://liktravy.ua/herbs/zviroboju-trava> [in Ukrainian] (20.09.2024).

3. Lebeda A.P., Dghurenko N.I., Isaykina O.P (Grodzinskyi A.M. Ed) (1992) Likarski roslyny: Enciklopedychnyi dovidnyk [Medicinal plants: Encyclopedic guide] [in Ukrainian].

4. Kobzar A. Ya. (2007) Farmakognoziya v medycini: navchalnyi posibnyk [Pharmacognosy in medicine: study guide]. Kyiv: Vseukrainske specializovane vydavnytstvo "Medycina". 544 p. [in Ukrainian].

5. Kalinina M. A., Chevtchenko T. L. (2018) Vplyv regulyatoriv rostu na rist i rozvytok deyakykh likarskykh Roslyn [The influence of growth regulators on the growth and development of some medicinal plants]. Likarske roslynnytstvo: vid dosvidu mynulogo do novitnih tehnologiy: materialy VI Mighnarodnoi naukovo-praktychnoi konferencii. Poltava: Komunalne vydavnytstvo "Lubny" [Municipal publishing house "Lubny"]. 268 p. [in Ukrainian]

6. Bilenko V. G., Yakubenko B. Ye. (2015) Likarski roslyny: tehnologiya vyroschuvannya ta vykorystannya: dovidnyk [Medicinal plants: cultivation and use technology]. Gytomir: [Ruta]. 600 p. [in Ukrainian].

7. Derghavna Farmakopeya Ukrainy [State Pharmacopoeia of Ukraine] Harkiv: Derghavne pidpryemstvo "Ukrainskyi naukovyi farmakopeyniy centr yakosti likarskykh zasobiv [State enterprise "Ukrainian Scientific Pharmacopoeia Center for the Quality of Medicinal Products"]. 2nd edition Addendum 2. 600 p. [in Ukrainian].

8. European Pharmacopoeia, 5th ed. Sup. 5.6. Strasbourg, 2005.

УДК 637.146

ДОСЛІДЖЕННЯ СЕЗОННИХ ЗМІН БІЛКОВОГО СКЛАДУ
КОРОВ'ЯЧОГО МОЛОКА-СИРОВИНИ*Романчук І. О., д.т.н., с.н.с., заст. директора з наукової роботи*
<https://orcid.org/0000-0002-3988-0717>*Боднарчук О. В., д.т.н., с.н.с.**с.н.с. відділу аналітичних досліджень та якості харчової продукції*
<https://orcid.org/0000-0003-3092-4354>*Білуха Г. М., заступник директора, аспірант,*
<https://orcid.org/0000-0002-4375-545X>

Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-17>

Предмет. Азотовмісні фракції коров'ячого молока. **Мета.** Визначення закономірностей зміни білкового складу молока-сировини в залежності від сезонів року. **Методи.** Забезпечували відповідну точність та достовірність азотовмісних фракцій згідно зі стандартизованими методиками досліджень. **Результати.** Виробництво молока і молочних продуктів є одним із важливих напрямів забезпечення населення повноцінними продуктами харчування. Склад і функціональні властивості коров'ячого молока мають велике значення для виробників молока, переробників та споживачів. Склад і властивості збірного молока є змінними параметрами, що залежать від низки факторів обумовлених генетикою корів, складом кормової бази, умовами утримання тощо. За останні роки структура виробництва заготівельного молока в Україні зазнає впливу через воєнну агресію, а кліматичні зміни суттєво впливають на кормову базу для молочного тваринництва та властивості молока-сировини. Для оцінки технологічних властивостей молока було проведено дослідження складу азотовмісних фракцій в молоці, що надходить на переробні підприємства, в залежності від сезонів року за наступними показниками: загальний азот, білок, не казеїновий азот, не казеїновий білок, небілковий азот, сечовина, сироваткові білки. На основі проведеної комплексної оцінки білкового складу коров'ячого молока встановлено діапазони вмісту білків казеїнової фракції – 2,4–2,7%, сироваткових білків 0,2–0,8%. **Сфера застосування результатів.** Розраховано на спеціалістів молочної галузі, викладачів, аспірантів, науковців. Результати досліджень мають практичний характер для організації контролю за показниками молока під час приймання на переробних підприємствах.

Ключові слова: молоко сировина, склад молока, азотовмісні фракції молока, казеїн, сироваткові білки, якість молока, харчові технології

RESEARCH OF SEASONAL CHANGES IN THE PROTEIN COMPOSITION
OF RAW MILK*Iryna Romanchuk, D-r of Sciences, Technics, Senior Researcher, Deputy Director*
<https://orcid.org/0000-0002-3988-0717>*Oksana Bodnarchuk, D-r of Sciences, Technics,**Senior Researcher of Department of Analytical Researchers and Quality of Food Products*
<https://orcid.org/0000-0003-3092-4354>*Genadiy Bilupha, Deputy Director, Postgraduate,*
<https://orcid.org/0000-0002-4375-545X>

Institute of Food Resources of the NAAS, Kyiv, Ukraine

Subject. Research is the content of nitrogen-containing fractions in the cow's milk being prepared. **Purpose.** The study is to determine the patterns of changes in the protein composition of raw milk depending on the seasons. **Methods.** Ensured the appropriate accuracy and reliability of nitrogen-containing fractions according to standardized research methods. **Results.** The production of milk and dairy products is one of the important directions of providing the population with complete food products. The composition and functional properties of cow's milk are of great importance for milk producers, processors and consumers. The composition and properties of collected milk are variable parameters that depend on a number of factors determined by the genetics of cows, the composition of the fodder base, conditions of keeping, etc. In recent years, the structure of production of raw milk in Ukraine has been

*affected by military aggression, and climate changes significantly affect the fodder base for dairy livestock and the properties of raw milk. In order to evaluate the technological properties of milk, a study was conducted of the composition of nitrogen-containing fractions in milk received by processing enterprises, depending on the seasons of the year, according to the following indicators: total nitrogen, protein, non-casein nitrogen, non-casein protein, non-protein nitrogen, urea, whey proteins. On the basis of a comprehensive evaluation of the protein composition of cow's milk, the ranges of the protein content of the casein fraction were established – 2.4–2.7%, whey proteins 0.2–0.8%. **Scope of results.** It is intended for specialists in the dairy industry, teachers, graduate students, scientists. The results of the research are of a practical nature for the organization of control over milk indicators during reception at processing enterprises.*

Key words: *raw milk, milk composition, nitrogen-containing fractions of milk, casein, whey proteins, milk quality, food technologies*

Постановка проблеми.

Молоко та молочні продукти – традиційне джерело білків тваринного походження. Тому, одним із напрямів, який активно розвивається переробними підприємствами є розширення асортименту білкових молочних продуктів.

Від початку доїння до етапу промислового перероблення молоко піддається впливу багатьох чинників, які можуть суттєво змінювати його початкові показники [1]. Вимоги до молока-сировини встановлені в стандарті, у якому зазначені характеристики та технічні вимоги для здійснення закупівлі і приймання сирого молока. Стандарт застосовний для оцінки якості закупівельного молока відповідно до трьох гатунків – екстра, вищого та першого. Фактичні масові частки жиру та білка в молоці встановлюють під час приймання молока, а розрахунок за сировину здійснюється за базисними нормами – масова частка жиру – 3,4% і масова частка білка – 3,0%. Тому, важливим є дослідження молока не тільки з точки зору формування наукових уявлень щодо його біологічної та харчової цінності, але й як обов'язковий етап оцінювання якості сировини в умовах виробництва.

Зміни складу молока потенційно можуть впливати на вихід цільового продукту та збільшувати втрати, зокрема під час виробництва білкових продуктів. Ризики зростають у разі заготівлі молока від невеликих фермерських господарств або господарств населення. Таким чином, обґрунтованою є необхідність оцінки фактичного стану щодо вмісту білка в збірному молоці для подальшого виявлення факторів, які можуть впливати на цей показник та його взаємозв'язку з ціною.

Метою роботи було визначення закономірностей зміни білкового складу молока сировини в залежності від сезонів року.

Матеріали та методи. Заготівельне молоко, що надходило на переробні підприємства, отримували від фермерських та особистих господарств. Основні характеристики молока визначали за загальноприйнятими стандартизованими методиками досліджень. Всього проаналізовано 50 зразків молока. Масову частку загального білка в молоці визначали відповідно до ДСТУ EN ISO 8968-1:2022 (EN ISO 8968-1:2014, IDT; ISO 8968-1:2014, IDT) «Молоко та молочні продукти. Визначення вмісту азоту. Частина 1. Принцип К'ельдаля та розрахунок сирого протеїну», масову частку казеїнового азоту та казеїну за ДСТУ ISO 17997-1/IDF 29-1:2009 «Молоко. Визначення вмісту казеїнового азоту. Частина 1. Непрямий метод (контрольний метод)» та ДСТУ EN ISO 8968-4:2022 (EN ISO 8968-4:2016, IDT; ISO 8968-4:2016, IDT) «Молоко та молочні продукти. Визначення вмісту азоту. Частина 4. Визначення вмісту білкового та небілкового азоту та обчислення справжнього вмісту білка (еталонний метод)».

Для оцінювання білкового складу молока визначали вміст «справжнього» білка, вираховуючи із загального вмісту азоту частку небілкової фракції:

$$Bc = (A_{\text{заг}} - A_{\text{н/б}}) \times 6,38$$

де: Bc – вміст «справжнього» білка;

A заг – масова частка загального азоту,%;

A н/б – масова частка небілкових азотовмісних сполук,%.

Значення коефіцієнту перерахунку масової частки загального азоту на масову частку загального білка складала 6,38.

Масову частку сечовини в молоці вимірювали на спектрофотометрі Unico S2100, США) методом калібрувального графіку з модифікацією [2] та методом добавок [3].

Контролювання кількісних характеристик молока здійснювалось шляхом вимірювань, що забезпечували відповідну точність та достовірність досліджуваних показників. Для попередження недостовірності результатів аналізу використовували адекватні засоби вимірювань, які мали високу ефективність, відповідали чинним метрологічним вимогам та забезпечували необхідну і достатню кількість числа вимірювань.

Результати та обговорення. Цілком очевидно, що промислове виробництво таких високобілкових молочних продуктів як сири тісно пов'язано з властивостями і складом молока-сировини, що використовувалась під час їх виробництва [3]. Склад і властивості збірного молока, яке резервується на молокопереробному підприємстві, характеризується змінними параметрами. Вони залежать від показників сировини, яка надійшла від окремих господарств – виробників молока. За даними Чагаровського В. П. [4] останні роки відбулося скорочення надходження молока від особистих селянських господарств на переробні підприємства. Попри позитивну тенденцію до покращення якості молока в цілому, структура оцінки його якості за показниками гігієни виробництва та фізико-хімічними властивостями залишається не однорідною [5].

За відкритими даними [3] динаміка цін на молоко-сировину у за минулий рік характеризується зниженням з травня до серпня з поступовим підвищенням з вересня до лютого. Так, у порівнянні з відповідним періодом минулого року середньозважена ціна трьох гатунків на молоко-сировину протягом року зросла майже на 20%. При розрахунках за сировину, що заготовляється, переважно враховується показник масової частки жиру в молоці. Показник вмісту білка на практиці не завжди застосовний.

Хімічний склад молока залежить від багатьох чинників серед яких найбільш вагомими є генетика тварин, годівля та утримання [6]. Опубліковано досить багато результатів досліджень стосовно зміни показників сирого молока в залежності від сезонних коливань та протягом року за різних технологій утримання корів [6–9].

В дослідженнях вітчизняних науковців Жукової Я. Ф. та Петрова П. І. [10] було встановлено вплив годівлі на технологічні параметри та вміст есенціальних нутрієнтів в молоці, отриманому в умовах органічних ферм за силосно-сінажного та трав'яно-сінного типу годівлі худоби. За даними аналізу азотовмісних фракцій авторами встановлено, що за трав'яно-сінного типу годівлі в органічному молоці підвищується масова частка небілкового азоту (на 33,8% у пасовищний період та на 23,8% у стійловий період) та масова частка сечовини (на 40,4% та на 14,0%, відповідно) [10, 15]. При цьому, загальний вміст білка у органічному молоці зростав у стійловий період за обох типів годівлі, що було пов'язано із збільшенням частки білкових кормів.

Традиційні технології білкових продуктів базуються на застосуванні способів кислотної, кисло-сичужної або термокислотної коагуляції для виділення білків (казеїну та/або сироваткових білків) із молочної сировини. При цьому білковий склад цільового продукту залежить від властивостей вихідної сировини [11,12], температурних режимів теплового оброблення [14] та інших чинників. Такі фактори як наявність маститу (або перенесений мастит), стадія лактації та низький рівень виробництва молока можуть змінити співвідношення казеїну та сироваткових білків, як наслідок – впливати на технологічні властивості молока [13].

Нами були досліджені зразки молока відібрані з різних партій щодо вмісту загального азоту, казеїнового і неказеїнового азоту. З огляду на те, що для проведення

досліджень вихідні дані щодо показників заготівельного молока не супроводжувались фактичними даними щодо умов утримання та годівлі корів, основний акцент був зосереджений на вивченні сезонних змін молока.

Відмічено, що діапазони змін вмісту загального азоту у молоці в межах кожної пори року були досить широкими. У після зимовий період середній вміст загального азоту у молоці був порівняно меншим ніж у інші періоди. Зокрема, на 7,1% менше ніж у осінній період та на 8,8% ніж у зимовий період.

Білки молока (загальна кількість азотовмісних фракцій за Кьельдалем $\times 6,38$) умовно поділяють на три основні фракції – казеїн (близько 78% від загального білка), сироваткові білки (близько 17% від загального білка) і небілковий азот (близько 5%). Казеїн - найбільш технологічно важлива фракція молока, оскільки він є основним складником сирів та білкових концентратів. Неказеїновий азот включає окрім інших азотовмісних сполук також сироваткові білки, білки оболонки жирових кульок та небілкову фракцію.

У заготівельному молоці літнього та осіннього періодів відмічено підвищення середніх значень показників неказеїнового азоту у порівнянні з молоком зимового та літнього періоду майже удвічі (рис.1).

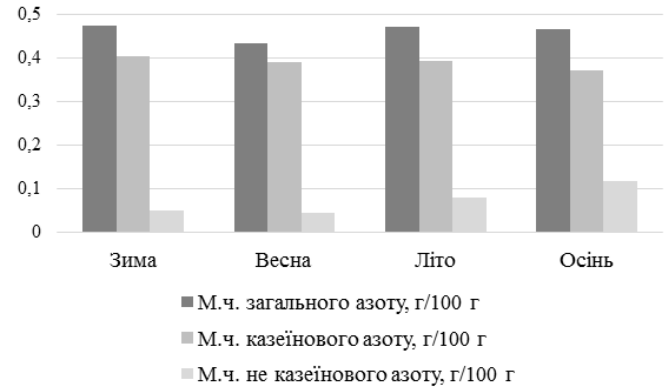


Рис. 1. Зміна середніх значень основних азотовмісних фракцій збірного молока в залежності від сезонів року

Оскільки показник неказеїнового азоту розраховується як різниця між вмістом загального азоту та казеїнового азоту, доцільним було визначення в місту сироваткових білків та небілкових сполук.

Небілкова фракція складається переважно з сечовини, пептидів зі слідовими залишками аміаку, креатиніну та гіпурової кислоти. Очевидно, що за рахунок збільшення вмісту небілкових азотистих речовин в молоці збільшується загальний показник азоту та показник загального

білка, який розраховується за методом К'ельдаля. При цьому фактичний результат виходу білка під час перероблення такого молока може бути меншим від контрольних вимірювань виходу продукції з одиниці маси сировини.

В таблиці 1 наведено діапазони значень вмісту казеїну, сироваткових білків, небілкових сполук і сечовини в досліджуваних зразках молока-сировини протягом року.

Таблиця 1

Діапазони значень (max-min) азотовмісних фракцій в молоці

Показники	Діапазони значень			
	Зима	Весна	Літо	Осінь
Казеїн, г/100 г (max)	2,67	2,61	2,55	2,64
Казеїн, г/100 г (min)	2,5	2,37	2,45	2,48
Сироваткові білки, г/100 г (max)	0,759	0,139	0,532	0,610
Сироваткові білки, г/100 г (min)	0,284	0,109	0,171	0,227
Небілкові сполуки, г/100 г (max)	0,255	0,178	0,147	0,230
Небілкові сполуки, г/100 г	0,191	0,134	0,145	0,160
Сечовина, мг/100 г (max)	36,4	26,4	26,0	30,5
Сечовина, мг/100 г (min)	24,1	23,6	22,4	24,6

Як видно з наведених даних білковий склад молока, яке надходить на переробку, характеризується сезонними змінами та широким діапазоном варіабельності основних показників в межах кожної пори року. Найбільший вміст казеїну 2,64% та 2,67%

спостерігали в зимові та осінні місяці. У цей же період спостерігали максимальні значення вмісту небілкових сполук, зокрема сечовини на рівні 30,5% та 36,4%. Цілком очевидно, що такі коливання обумовлені умовами утримання корів, кормовою базою, притаманній цій порі року. Розраховані на підставі отриманих даних середньозважені показники «справжнього білка» протягом року наведено на рис. 2.

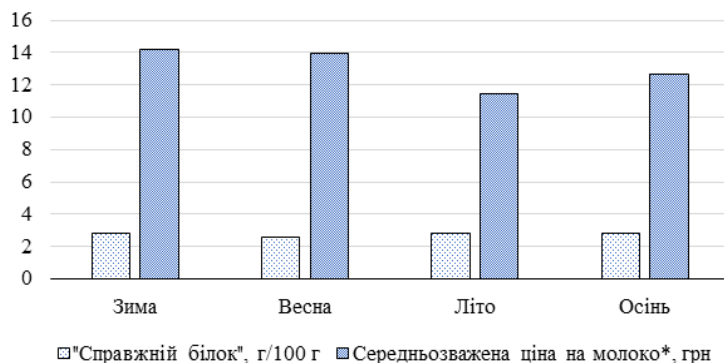


Рис. 2. Зміна середньозважених показників вмісту «справжнього білка» та ціни на молоко-сировину (за даними [3]) протягом року

Середньозважені показники вмісту «справжнього білка» у молоці протягом досліджуваного періоду коливались в межах 2,6...3,0%. Найменший показник вмісту «справжнього білка» на рівні 2,6% характерний для весняного молока. Порівнюючи показники середньозваженої ціни на сировину протягом року, слід відмітити, що саме у зимово-весняний період середньозважена ціна на сировину була найбільша 13,9...14,2 грн/кг.

Таким чином, вміст білкових фракцій, зокрема, казеїну та сироваткових білків, є важливим фактором, що визначає технологічні властивості молочної сировини та повинен враховуватися під час оцінювання якості сировини.

Висновки. За останні роки структура виробництва заготівельного молока в Україні зазнає впливу через воєнну агресію, а кліматичні зміни очевидно впливають на кормову базу для молочного тваринництва та властивості молока-сировини. Концентрація білка в молоці, співвідношення білка до жиру, казеїну до сироваткових білків мають важливе значення для оцінки якості молока як для виробників молока так і переробних підприємств. Дослідження показників молока за складом азотовмісних фракцій в залежності від впливу різних чинників є важливим як для оцінки технологічних властивостей молока, так і врахування їх в системі оплати за сировину.

На основі проведеної комплексної оцінки білкового складу коров'ячого молока встановлено сезонні зміни вмісту білків казеїнової фракції у межах 2,4–2,7%, сироваткових білків у межах 0,2–0,8%, вмісту сечовини – 22,4–36,4%.

Сфера застосування результатів дослідження. Розраховано на спеціалістів молочної галузі, викладачів, аспірантів, науковців. Результати досліджень мають також практичний характер для переробних підприємств з метою організації контролю за показниками молока під час приймання. Також, можуть бути рекомендовані для врахування під час визначення ціни на молоко-сировину.

Бібліографія

1. Singh H., H. Singh, M.Boland, A. Thompson. Milk proteins from expression to food. Second Edition. / Riddet Institute, Massey University, Palmerston North, New Zealand. 2014. P. 606.
2. Zhukova Y., Petrov P., Klimenko L. Express method of quantitative determination of urea in milk. Товари і ринки. 2017. №2 (1), С. 17–35.
3. Belitz H.-D., Grosch W., Schieberle P. Food Chemistry. 4th revised and extended ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2009, <https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7>.
4. Чагаровський В. П. Значення молочної галузі для продовольчої безпеки країни. Молочна переробка в умовах війни. Державна підтримка. <https://uadairy.com/znachennya-molochnoyi-galuzi-dlya-prodovolchoyi-bezpeky-krayiny-molochna-pererobka-v-umovah-vijny-derzhavna-pidtrymka> (дата звернення 29.08.2024).
5. Програма контролю сирого молока: від пілотного проєкту до національного рівня України. <https://uadairy.com/pyat-rokiv-realizacziyi-programy-kontrolyu-syрого-moloka-vid-pilotnogo-proyektu-do-rozhortannya-na-nacjonalnomu-rivni/> (дата звернення 10.09.2024).

6. Walker G. P., Dunshea F. R., Doyle P. T. Effects of nutrition and management on the production and composition of milk fat and protein: a review. *Australian Journal of Agricultural Research*, 2004, 55, 1009–1028. <https://doi.org/10.1071/AR03173>.
7. Heck J. M. L., van Valenberg H. J. F., Dijkstra J., van Hooijdonk A. C. M. Seasonal Variation in the Dutch Bovine Raw Milk Composition. *J. Dairy Sci.* 2009, 92, 4745–4755. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2146>.
8. Larsen M. K., Nielsen J. H., Butler G., Leifert C., Slots T., Kristiansen G. H., Gustafsson A. H. Milk Quality as Affected by Feeding Regimens in a Country with Climatic Variation. *J. Dairy Sci.* 2010, 93, 2863–2873. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2953>.
9. Chen B., Lewis M. J., Grandison A. S. Effect of Seasonal Variation on the Composition and Properties of Raw Milk Destined for Processing in the UK. *Food Chem.* 2014, 158, 216–223. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.118>.
10. Жукова Я. Ф., Петров П. І. Вплив типу годівлі корів на параметри якості органічного молока. *Продовольчі ресурси*. 2018. № 10, С. 111–122. <https://doi.org/10.31073/foodresources2018-10-13>.
11. Priyashantha H., Lundh Å., Höjer A., Bernes G., Nilsson D., Hetta M., Saedén K. H., Gustafsson A. H., Johansson M. Composition and Properties of Bovine Milk: A Case Study from Dairy Farms in Northern Sweden; Part II. Effect of Monthly Variation. *J. Dairy Sci.* 2021, 104. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19651>.
12. Priyashantha H., Johansson M., Langton M., Samples S., Jayarathna S., Hetta M., Saedén K. H., Höjer A., Lundh Å. Variation in Dairy Milk Composition and Properties Has Little Impact on Cheese Ripening: Insights from a Traditional Swedish Long-Ripening Cheese / *Dairy*, 2021, № 3, 336–355 <https://doi.org/10.3390/dairy2030027>.
13. Coulon JB, Hurtaud C, R'emond B, Verite R. Factors contributing to variation in the proportion of casein in cows' milk true protein: a review of recent INRA experiments. *Journal of Dairy Research*, 1998, 65, 375–387. <https://doi.org/10.1017/S0022029998002866>.
14. Романчук І. О., Жукова Я. Ф., Кострицька О. О. Білковий склад кислотно-сичужних згустків та сироватки при виробництві сиру. *Вісник аграрної науки*, 2008, № 4, с. 70–72.
15. Zhukova Y., Petrov P., Mudrak T. Structure of nitrogen fractions organic and conventional cow's milk. *Innovation in Science and Education: Challenges of Our Time: Collection of Scientific Papers of the I Int. Conf.*, September 12–17, 2016. London, 2016. P. 190–191.

References

1. Singh H., H. Singh, M., Boland, A. Thompson. Milk proteins from expression to food. Second Edition. / Riddet Institute, Massey University, Palmerston Noth, New Zealand. 2014. P. 606.
2. Zhukova Y., Petrov P., Klimenko L. (2017). Express method of quantitative determination of urea in milk. *Tovary i rynky*. №2 (1), С. 17–35.
3. Belitz H.-D., Grosch W., Schieberle P. *Food Chemistry*. 4th revised and extended ed. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 2009, <https://doi.org/10.1007/978-3-540-69934-7>.
4. Chaharovskiy V. P. Znachennia molochnoi haluzi dlia prodovolchoi bezpeky krainy. *Molochna pererobka v umovakh viiny. Derzhavna pidtrymka*. Retrieved from <https://uadairy.com/znachennya-molochnoyi-galuzi-dlya-prodovolchoyi-bezpeky-krayiny-molochna-pererobka-v-umovah-vijny-derzhavna-pidtrymka> [InUkrainian].
5. Prohrama kontroliu syroho moloka: vid pilotnoho proiektu do natsionalnoho rivnia Ukrainy. Retrieved from <https://uadairy.com/pyat-rokiv-realizacziyi-programy-kontrolyu-syrogogo-moloka-vid-pilotnogo-proyektu-do-rozgortannya-na-naczionalnomu-rivni/>. [InUkrainian].
6. Walker G. P., Dunshea F. R., Doyle P. T. (2004). Effects of nutrition and management on the production and composition of milk fat and protein: a review. *Australian Journal of Agricultural Research*, 55, 1009–1028. <https://doi.org/10.1071/AR03173>.
7. Heck J. M. L., van Valenberg H. J. F., Dijkstra J., van Hooijdonk A.C.M. (2009) Seasonal Variation in the Dutch Bovine Raw Milk Composition. *J. Dairy Sci.* 92, 4745–4755. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2146>.
8. Larsen M. K., Nielsen J. H., Butler G., Leifert C., Slots T., Kristiansen G. H., Gustafsson A. H. (2010). Milk Quality as Affected by Feeding Regimens in a Country with Climatic Variation. *J. Dairy Sci.* 93, 2863–2873. <https://doi.org/10.3168/jds.2009-2953>.
9. Chen B., Lewis M.J., Grandison A. S. (2014). Effect of Seasonal Variation on the Composition

and Properties of Raw Milk Destined for Processing in the UK. *Food Chem.* 158, 216–223. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.02.118>

10. Zhukova Ya. F., Petrov P. I. (2018). Vplyv typu hodivli koriv na parametry yakosti orhanichnoho moloka. *Prodovolchi resursy. Prodovolchi resursy.* № 10, С. 111–122. <https://doi.org/10.31073/foodresources2018-10-13> [InUkrainian].

11. Priyashantha H., Lundh Å., Höjer A., Bernes G., Nilsson D., Hetta M., Saedén K. H., Gustafsson A. H., Johansson M. (2021). Composition and Properties of Bovine Milk: A Case Study from Dairy Farms in Northern Sweden; Part II. Effect of Monthly Variation. *J. Dairy Sci.* 104. <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19651>.

12. Priyashantha H., Johansson M., Langton M., Samples S., Jayarathna S., Hetta M., Saedén K. H., Höjer A., Lundh Å. (2021). Variation in Dairy Milk Composition and Properties Has Little Impact on Cheese Ripening: Insights from a Traditional Swedish Long-Ripening Cheese. *Dairy*, № 3, 336–355 <https://doi.org/10.3390/dairy2030027>.

13. Coulon JB, Hurtaud C, R'emon B, Verite R. (1998). Factors contributing to variation in the proportion of casein in cows' milk true protein: a review of recent INRA experiments. *Journal of Dairy Research*, 65, 375–387. <https://doi.org/10.1017/S0022029998002866>.

14. Romanchuk I. O., Zhukova Ya. F., Kostytska O. O. (2008). Bilkovyi sklad kyslotno-sychuzhnykh zghustkiv ta syrovatky pry vyrobnytstvi syru. *Visnyk ahrarnoi nauky*, № 4, 70–72. [In Ukrainian].

15. Zhukova Y., Petrov P., Mudrak T. (2016). Structure of nitrogen fractions organic and conventional cow's milk. *Innovation in Science and Education: Challenges of Our Time: Collection of Scientific Papers of the I Int. Conf., September 12–17, London, 2016.* P. 190–191.

УДК 664.1.038

ПРОВЕДЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ ОЦІНКИ ВИКИДІВ САТУРАЦІЙНОГО ГАЗУ ЦУКРОВОГО ЗАВОДУ З ВСТАНОВЛЕННЯМ ГРАНИЧНО-ДОПУСТИМИХ НОРМ ОКСИДУ І ДІОКСИДУ ВУГЛЕЦЮ

Ткаченко С. В.^{1,2}, к.т.н., старший дослідник,
с.н.с відділу технології цукру, цукровмісних продуктів та інгредієнтів,
доцент кафедри харчових виробництв
<https://orcid.org/0000-0003-2897-8978>

Хомічак Л. М.^{1,2}, д.т.н., професор, член-кореспондент НААН, директор,
професор кафедри харчових виробництв
<https://orcid.org/0000-0001-9003-0315>

Заровний В. М.³, гол.фах. наукової групи «Компанія «Gas Security Service»
<https://orcid.org/0009-0001-4221-0204>

Шейко Т. В.¹, к.т.н., старша дослідниця,
п.н.с. відділу технології цукру, цукровмісних продуктів та інгредієнтів
<https://orcid.org/0000-0002-0559-1335>

Штангеев К. О.², к.т.н., доцент, завідувач кафедри харчових виробництв.
<https://orcid.org/0000-0003-2571-1119>

Скорик К. Д.², к.т.н., професор кафедри харчових виробництв.
<https://orcid.org/0009-0007-3815-7125>

Букишина Л. С.², старший викладач кафедри харчових виробництв.
<https://orcid.org/0009-0009-8351-0893>

¹Інститут продовольчих ресурсів НААН України, м. Київ, Україна
²Інститут післядипломної освіти Національного університету харчових технологій, Київ, Україна
³ФОП «Заровний В.М.» м. Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-18>

Предмет. Сучасний стан розвитку людства вимагає обґрунтованого підходу не тільки до отримання якісної конкурентоспроможної продукції, але й до зменшення кількості шкідливих викидів в навколишнє середовище внаслідок виготовлення цієї продукції. Зокрема зараз гостро стоять питання зменшення кількості шкідливих викидів вуглекислого газу (CO₂) та оксиду вуглецю (CO), що утворюються в процесі випалу вапняку у випалювальних печах цукрових заводів і містяться в сатураційному газі який застосовується в технологічному процесі отримання цукру.

Мета. Метою роботи було провести моніторингове дослідження нормативів гранично-допустимих викидів CO та CO₂ із сатураційного газу та провести екологічну оцінку цих компонентів викидів для цукрового заводу. **Методи.** Аналіз і моніторингове дослідження проводилося з використанням методичних підходів, які застосовуються у вітчизняній та міжнародній практиці. Для кількісного визначення компонентів сатураційного газу та викидів у атмосферу ми використовували сучасні електронні портативні газоаналізатори, електронний термометр та анемометр. **Результати.** Визначено, що до складу основних компонентів викидів сатураційного газу входять оксид вуглецю (II) – CO, відомий також як чадний газ, діоксид вуглецю (IV) – CO₂, вуглекислий газ, кисень – O₂, азот – N₂. Проведено узагальнення гранично допустимих нормативів викидів сатураційного газу стаціонарними джерелами у технологічному процесі цукрового виробництва. Встановлено, що вміст CO в сатураційному газі залежить від: виду і кількості палива для випалу вапняку; розміру компонентів шихти; фракційного складу вапняку і корисної висоти печі; зміщенням зону підігріву чи зони випалу в ту чи іншу сторону; гальмування відбору газу з печі. Проаналізовано, що на зменшення викидів вуглекислого газу на станції вапно-карбонізації суттєво впливає апаратурне оформлення та конструкція карбонізаторів. Запропоновано рекомендації щодо мінімізації кількості викидів вуглекислого газу і оксиду вуглецю із сатураційного газу в атмосферу та запропоновані напрями зменшення викидів CO₂ на одиницю виробленої продукції. **Сфера застосування результатів.** Цукрові підприємства одержать дані щодо оцінки викидів забруднюючих речовин та зменшення їх кількості в технологічному процесі цукрового виробництва.

Ключові слова: дифузійний сік, викиди, сатураційний газ, декарбонізація, оксид вуглецю, діоксид вуглецю, вапняк, паливо, піч, цукрове виробництво, цукор, процес, екологічна безпека, гранично допустимі викиди

CONDUCTING AN ENVIRONMENTAL ASSESSMENT OF THE SUGAR PLANT'S SATURATION GAS EMISSIONS WITH THE ESTABLISHMENT OF MAXIMUM PERMISSIBLE STANDARDS FOR CARBON MONOXIDE AND DIOXIDE

Serhii Tkachenko^{1,2}, PhD, Engineering, Senior Researcher, Senior Research of Department of Sugar Technology, Sugar-containing Products and Ingredients, Associate Professor of the Department of Food Production
<https://orcid.org/0000-0003-2897-8978>

Liubomyr Khomichak^{1,2}, D-r of Sc., Engineering, Professor, Corresponding member of the NAAS, Director, Professor of the Department of Food Production
<https://orcid.org/0000-0001-9003-0315>

Vasyl Zarovnyi³, Head Specialist of the Scientific Group "Gas Security Service"
<https://orcid.org/0009-0001-4221-0204>

Tamila Sheiko¹, PhD, Engineering, Senior Researcher, Leading researcher of Department of Sugar Technology, Sugar-containing Products and Ingredients.
<https://orcid.org/0000-0002-0559-1335>

Kostiantyn Shtanheiev², PhD, Associate Professor, Head of the Department of Food Production
<https://orcid.org/0000-0003-2571-1119>

Kostiantyn Skoryk², PhD, Professor of the Department of Food Production
<https://orcid.org/0009-0007-3815-7125>

Liudmyla Bukshyna², Senior Lecturer of the Department of Food Production
<https://orcid.org/0009-0009-8351-0893>

¹Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

²Institute of Postgraduate Education of the National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

³Private entrepreneur "Zarovnyi V.M." Kyiv, Ukraine

Subject. The current state of human development requires a reasonable approach not only to obtaining high-quality competitive products, but also to reducing the amount of harmful emissions into the environment as a result of the production of these products. In particular, there is an urgent need to reduce the amount of harmful emissions of carbon dioxide (CO₂) and carbon monoxide (CO) generated during the firing of limestone in the kilns of sugar factories and contained in the souring gas used in the technological process of sugar production. **Purpose.** The purpose of the work was to conduct a monitoring study of the maximum permissible emissions of CO and CO₂ from saturation gas and to conduct an environmental assessment of these emission components for a sugar plant. **Methods.** The analysis and monitoring study was carried out using methodological approaches used in domestic and international practice. We used modern electronic portable gas analyzers, an electronic thermometer, and an anemometer to quantify the components of saturation gas and air emissions. **Results.** It has been determined that the main components of saturation gas emissions include carbon monoxide (II) – CO, also known as carbon monoxide, carbon dioxide (IV) – CO₂, carbon dioxide, oxygen – O₂, nitrogen – N₂. The maximum permissible standards for saturation gas emissions from stationary sources in the technological process of sugar production were generalized. It is established that the CO content in the saturation gas depends on: the type and amount of fuel for limestone firing; the size of the charge components; the fractional composition of limestone and the useful height of the furnace; the displacement of the heating zone or the firing zone in one direction or another; inhibition of gas extraction from the furnace. It has been analyzed that the reduction of carbon dioxide emissions at a lime-carbonation plant is significantly influenced by the hardware design and construction of carbonizers. Recommendations for minimizing the amount of carbon dioxide and carbon monoxide emissions from the saturation gas into the atmosphere are proposed, and directions for reducing CO₂ emissions per unit of output are suggested. **Scope of results.** Sugar enterprises will receive data on the assessment of pollutant emissions and their reduction in the technological process of sugar production.

Key words: raw juice, emissions, saturation gas, decarbonization, carbon monoxide, carbon dioxide, limestone, fuel, furnace, sugar production, sugar, process, environmental safety, maximum permissible emissions

Постановка проблеми. У сучасному світі ефективний підхід до виробництва необхідний як для отримання конкурентоспроможної продукції, так і для зменшення кількості шкідливих викидів в навколишнє середовище, пов'язаних з її виготовленням [1, 2]. Особливо гостро стоїть задача замкнутого циклу виробництва та декарбонізації відходів.

Одним із основних технологічних процесів виробництва цукру є отримання технологічного вапна і пічного або сатураційного газу, які є необхідним і важливим у технологічному циклі цукрового виробництва [3-8]. Вихід і якість продукції, стабільність технологічного процесу, витрати енергії та кількість викидів забруднюючих речовин в атмосферу залежать від якості та підготовки вапняного каменю для введення у технологічний процес [3, 5, 6, 9-14].

Зокрема, актуальним є питання зменшення кількості викидів оксиду вуглецю – CO [11-13] та вуглекислого газу – CO₂ (декарбонізація відходів) [15-18], які утворюються в процесі випалу вапняку у випалювальних печах цукрових заводів і містяться в сатураційному газі, який використовується під час технологічного процесу отримання цукру. Кількість газу становить 9-10 м³ на 100 кг буряків, або ж 1,25 м³/кг випаленого вапнякового каменю [11]. Завдяки низькому вмісту кисню, газ відноситься до задушливих, а враховуючи високий вміст CO – ще й до отруйних [19].

Отруйний газ без кольору та запаху **оксид вуглецю (CO)** є продуктом неповного згорання палива [20]. Щільність CO така ж, як і у повітря. Він майже не розчиняється у воді і не вступає в хімічну взаємодію з нею.

За високих концентрацій у повітрі він потрапляє в легені та поєднується з гемоглобіном крові, блокуючи його здатність зв'язуватися з киснем. Таким чином, елементи крові перестають отримувати кисень від легенів до інших тканин організму, що призводить до кисневого голодування і смерті протягом 1-3 хв за концентрації CO 1,28% об. [20, 21].

Також оксид вуглецю негативно впливає на технологічний процес цукрового виробництва, а саме якість очищення соку, збільшує тривалість процесу карбонізації (сатурації) до 1,7-2 разів. Наприклад за вмісту в сатураційному газі 0,5% CO тривалість карбонізації збільшується на 1/3 у порівнянні з процесом без оксиду вуглецю. Газ, що вміщує 10% CO, зменшує швидкість сатурації більше ніж вдвічі. За цього доброякісність соків, як першої, так і другої карбонізації знижується, що значно погіршує якість соку та знижує продуктивність заводу [3, 11-13]. Так, вміст в пічному газі 2,0% об. CO знижує чистоту очищеного соку на 0,6%, 4,0% об. CO на 0,7%, а 10,0% об. CO на 1,2%. Крім цього гальмування процесу сатурації призводить до отримання темних утфелів, цукру сірого кольору і збільшенню вмісту цукру в мелясі [3, 13].

Вуглекислий газ (CO₂) – продукт кінцевого окислення вуглецю, також не має кольору і запаху, але має кислуватий «содовий» присмак, не горить, не підтримує горіння. Діоксид вуглецю за нормальних умов в 1,5 рази важчий за повітря [22].

Токсична дія вуглекислого газу проявляється за його вмісту у повітрі понад 3-4 % і полягає в подразненні дихальних шляхів, запамороченні, головному болю, шумі у вухах, психічному збудженні, непритомному стані, а 10-15% і більше призводить до смертельних випадків [22, 23]. За його значних концентрацій в атмосфері посилюється парниковий ефект [24].

Численні дослідження показали, що коефіцієнт утилізації діоксиду вуглецю сатураційного газу в більшості сучасних сатураторів становить від 56 до 70% [9, 25]. Як наслідок, після сатурації відпрацьований газ потрапляє в атмосферу у вигляді шкідливих викидів, що містять діоксид вуглецю.

Для заводу потужністю 3000 т/добу за витрати вапна 2,0% CaO до кількості буряку викидається в атмосферу в середньому 435 кг CO₂ або 213 м³ чистого діоксиду вуглецю щодня [11].

З 1 січня 2021 року набув чинності закон «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів». Цей документ підтверджує наміри України щодо боротьби зі зміною клімату, викладені в Паризькій угоді 2016 року [26].

Однією з найважливіших новацій закону є впровадження системи торгівлі квотами на викиди парникових газів, а також створення основ для функціонування системи

моніторингу, звітності та верифікації викидів (МЗВ). По суті, Держекоінспекція буде мати доступ до інформації про тих, хто забруднює навколишнє середовище, коли та в якій кількості.

Нова система має на меті отримати точну інформацію про викиди парникових газів від виробничих установок; контролювати викиди та обмежувати їх; і впровадити обов'язкову схему розрахунку викидів для всіх виробничих установок.

Держекоінспекція перевірятиме всі вищезазначені критерії в планах викидів і моніторингу. Крім того, найцікавіше те, що інспекція може розпочати позапланові перевірки, щоб переконатися, що інформація, представлена у планах або звітах, є правдивою.

Тому питання зменшення шкідливих компонентів у викидах і визначення їх об'єктивної кількості є актуальними для промисловості та соціально важливими для людства.

Гранично допустимі викиди компонентів забруднюючих речовин встановлюються екологічною службою відповідно дозволу на викиди в атмосферне повітря забруднюючих речовин стаціонарними джерелами, що розробляються для кожного підприємства окремо.

Як правило для цукрових заводів відповідно до дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами встановлені гранично допустимі викиди по оксиду вуглецю (CO), що наведені у таблиці 1.

Таблиця 1

**Гранично допустимі викиди по оксиду вуглецю
для сатураторів цукрового заводу**

Нормативний показник	Джерело викидів №2 – Сатуратор №1	Джерело викидів №3 – Сатуратор №2
CO, мг/м ³	250	250
CO, г/с	0,463005	0,484831

Такий нормативний показник для CO (250 мг/м³) регламентований наказом Мінприроди від 22.10.2008 №541 «Про затвердження технологічних нормативів допустимого викиду забруднюючих речовин із

теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт» [27].

Відповідно до якого масова концентрація забруднюючих речовин у газах, що відводяться від окремого типу обладнання (котли) у місці їх виходу з устаткування (або газоочисного обладнання, яке встановлене безпосередньо за джерелом утворення викидів) не повинні перевищувати технологічних нормативів.

Відповідно до “Методичних рекомендацій щодо оформлення дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами для суб'єктів господарювання з урахування технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря” (Затверджених наказом Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 17.09.2010 № 407) [28] технологічний норматив допустимого викиду забруднюючої речовини - гранична масова концентрація забруднюючої речовини у місці виходу відхідних газів з установки, устаткування або після газоочисного устаткування, яке встановлене безпосередньо за технологічним обладнанням.

Цей норматив виражається в міліграмах на кубічний метр (мг/м³) за стандартних умов у відхідних газах. Технологічні нормативи стосуються стаціонарних сталих режимів роботи устаткування, передбачених технологічним регламентом виробництва.

Разом з цим в дозволах на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами дають посилання на наказ Міністерство Екології та Природних Ресурсів України від 01.07.2015 №260 «Про затвердження Технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із устаткування (установки) для виробництва вапна в обертових випалювальних печах, виробнича потужність яких перевищує 50 тонн на день, або в інших печах, виробнича потужність яких перевищує 50 тонн на день» [29].

Відповідно до якого масова концентрація оксиду вуглецю не повинна перевищувати таких значень технологічних нормативів допустимих викидів для шахтних печей зі змішаним подаванням – 15 000 мг/м³.

Таким чином для пічного газу встановлений технологічний норматив допустимих викидів відповідно до законодавства – 15000 мг/м³ для труби шахтної печі зі змішаними подаванням [29]. Оскільки очищений та охолоджений пічний газ є сатураційним газом і він же є відпрацьованим сатураційним газом після сатураторів (викиди) [3–6, 9–12, 30]. То варто допустимі викиди з сатураторів та викиди надлишку сатураційного газу розглядати в контексті технологічного нормативу допустимих викидів – 15000 мг/м³.

Згідно до методики розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря (Затвердженої наказом Міністерства енергетики та захисту довкілля України 28 квітня 2020 року № 277) Пункт 1.5.[31] затверджений граничнодопустимий викид для стаціонарних джерел викидів, які віднесені до основних, може виражатись в мг/м³ та г/с, а для джерел викидів віднесених до інших, в мг/м³. Тобто розраховується також масова витрата викиду в г/с.

Масова витрата (потужність викиду), q_m – кількість речовин, що викидається в атмосферне повітря за одиницю часу, г/с. Масова витрата розраховується як добуток об'ємної витрати газу приведеної до нормальних умов q_v (м³/с) на масову концентрацію викиду (мг/м³).

У табл. 2. наведено узагальнені дані складу сатураційного газу по цукрових заводах України [12].

Таблиця 2

Склад сатураційного газу за випалу вапняку

Нормативні дані	Фактичні дані
CO ₂ – 36,0–40,0% об.	CO ₂ – 26,0–38,0–40,0% об.
O ₂ – не більше 1,8–2,0% об.	O ₂ – 2,5–7,0% об.
CO – не більше 0,6–1,0% об.	CO – 0,5–3,0% об.
N ₂ – 57,0–61,6% об.	NO ₂ – 50,0–71,0% об.

Якщо перерахувати нормативні дані з таблиці 2 по вмісту CO (0,6–1,0% об.) з врахуванням того, що об'ємна витрата газу приведена до нормальних умов $q_v=0,9$ м³/с, то будемо мати масову концентрацію викиду за нормальних умов – 7500–

12500 мг/м³ або масову витрату (потужність) викиду – 6,7–11,1 г/с.

Як видно з результатів розрахунків, масова концентрація викиду за нормальних умов – 7500–12500 мг/м³ відповідає значенню технологічних нормативів допустимих викидів для шахтних печей зі змішаним подаванням – 15000 мг/м³ [29], а масова витрата (потужність) викиду – 6,7–11,1 г/с не відповідає нормативу для CO ($\approx 0,5$ г/с, табл. 1). Тому така граничнодопустима витрата у дозволі є заниженою і не відповідає дійсності технологічного процесу випалу вапняку в шахтних печах із змішаним подаванням шихти та потребує корегування в дозволах на викиди, що розробляються для цукрових заводів.

Вище вже зазначалося, що допустимі викиди з сатураторів та викиди надлишку сатураційного газу варто розглядати в контексті технологічного нормативу допустимих викидів. Тому для визначення дійсної масової витрати викиду в г/с (в дозволах ця витрата проходить як граничнодопустимий викид, є заниженою і не відповідає дійсності (табл. 1), що буде визначатись через об'ємну витрату газу приведеної до нормальних умов q_v (м³/с) і залежати від хімічного складу вапнякового каменю, кількості палива, добової продуктивності печі тощо, варто проводити еколого-технологічний аудит вапняно-газового відділення, який ґрунтується на таких складах:

- матеріальний баланс вапняного відділення, що на основі хімічного складу вапнякового каменю, якісних показників дифузійного соку, продуктивності заводу, кількості шихти для випалу, активності вапняного молока, дозволить визначити питомі

витрати вапняку на технологічні потреби, кількість активного вапна поданого в завод, витрати вапна на переробку буряку, добову продуктивність вапняного відділення;

- визначення об'єму пічного газу, що на основі хімічного складу вапнякового каменю, кількості палива, кількісного складу компонентів сатураційного газу (CO , CO_2 , O_2 , N_2), продуктивності вапняного відділення, дозволить визначити об'єм CO_2 від розкладу CaCO_3 вапняку, об'єм CO_2 від розкладу MgCO_3 вапняку, об'єм CO_2 від згорання палива, загальний об'єм CO_2 , добову продуктивність печі по пічному газу;

- визначення шкідливих викидів в атмосферу (CO , CO_2) із відпрацьованим сатураційним газом, що на основі кількісного складу компонентів сатураційного газу (CO , CO_2 , O_2 , N_2) до та після сатурації та добової продуктивності печі по пічному газу, дозволить визначити дійсну кількість вуглекислого газу та оксиду вуглецю, що виходить в атмосферу;

- на основі аналізу результатів оцінювання за такою методикою можна буде дати чіткі рекомендації щодо зменшення викидів шкідливих компонентів CO_2 та CO в атмосферу які будуть ґрунтуватись на налагодженні технологічного процесу випалу вапняку у печі, точній дозі палива у шихті, що буде відповідати необхідній мінімальній кількості для випалу вапняку з відповідною кристалічною структурою та хімічним та фракційним складом, використання якісного палива відповідного фракційного складу для випалу, раціональній конструкції сатураторів, що відповідає продуктивності виробництва та забезпечує максимальний коефіцієнт утилізації CO_2 .

Нині нормативи на викиди вуглекислого газу в Україні відсутні, але передбачено, що ставка екологічного податку за викиди двоокису вуглецю становить 30 грн за 1 тону (п. 243.4 [32]). Така ставка досі залишиться найнижчою в Європі (за виключенням Польщі) порівняно з іншими країнами: до прикладу у Швеції ставка (є найвищою) становить \$137/т CO_2 , в Швейцарії – \$101/т CO_2 , Фінляндії – \$62/т CO_2 , Норвегії – \$69/т CO_2 , Франції – \$52/т CO_2 , Нідерландах – \$35/т CO_2 , Португалії – \$28/т CO_2 , в Україні ж, відповідно, – \$1,1/т CO_2 . [33].

Зараз у світі ведеться серйозна робота по обліку і зменшенню викидів вуглекислого газу у цукровій промисловості на одиницю виробленої продукції (декарбонізація) за рахунок застосування технологій «рециклінгу» [15-18] та вловлюванню діоксиду вуглецю в спеціальні сховища [34]. Перспективними серед таких розробок є: утилізація CO_2 шляхом отримання карбонату амонію із аміачних розчинів [15]; можливість вдування чистого CO_2 на сатурацію за наявності на заводі дільниці отримання біоетанолу, де CO_2 є відходом із вмістом останнього майже 95%, а кількість його дорівнює кількості отриманого біоетанолу [35] або отримання CO_2 шляхом випалу фільтраційного карбонізованого осаду [17, 36] який є відходом виробництва.

Матеріали та методи. Аналіз і моніторингове дослідження проводилося з використанням методичних підходів, які застосовуються у вітчизняній та міжнародній практиці. Для кількісного визначення компонентів сатураційного газу та викидів у атмосферу ~~ми~~ використовувались сучасні електронні портативні газоаналізатори, електронний термометр та анемометр, що були люб'язно надані авторам в користування представниками наукової групи «Компанія «Gas Security Service»». В газоаналізаторах застосовуються інфрачервоний датчик (NDIR) для визначення CO_2 та електрохімічні датчики для визначення CO та O_2 .

Результати та обговорення. Аторами було проведено комплексний еколого-технологічний аудит на вапняно-газовому відділенні одного з цукрових заводів у західному регіоні України. Деякі елементи аудиту наведені на рисунку 1 і в таблиці 3.

За результатами цього аудиту було виявлено низку недоліків роботи печі. Графічна інтерпретація ситуації, що склалася, представлена на рисунку 1.

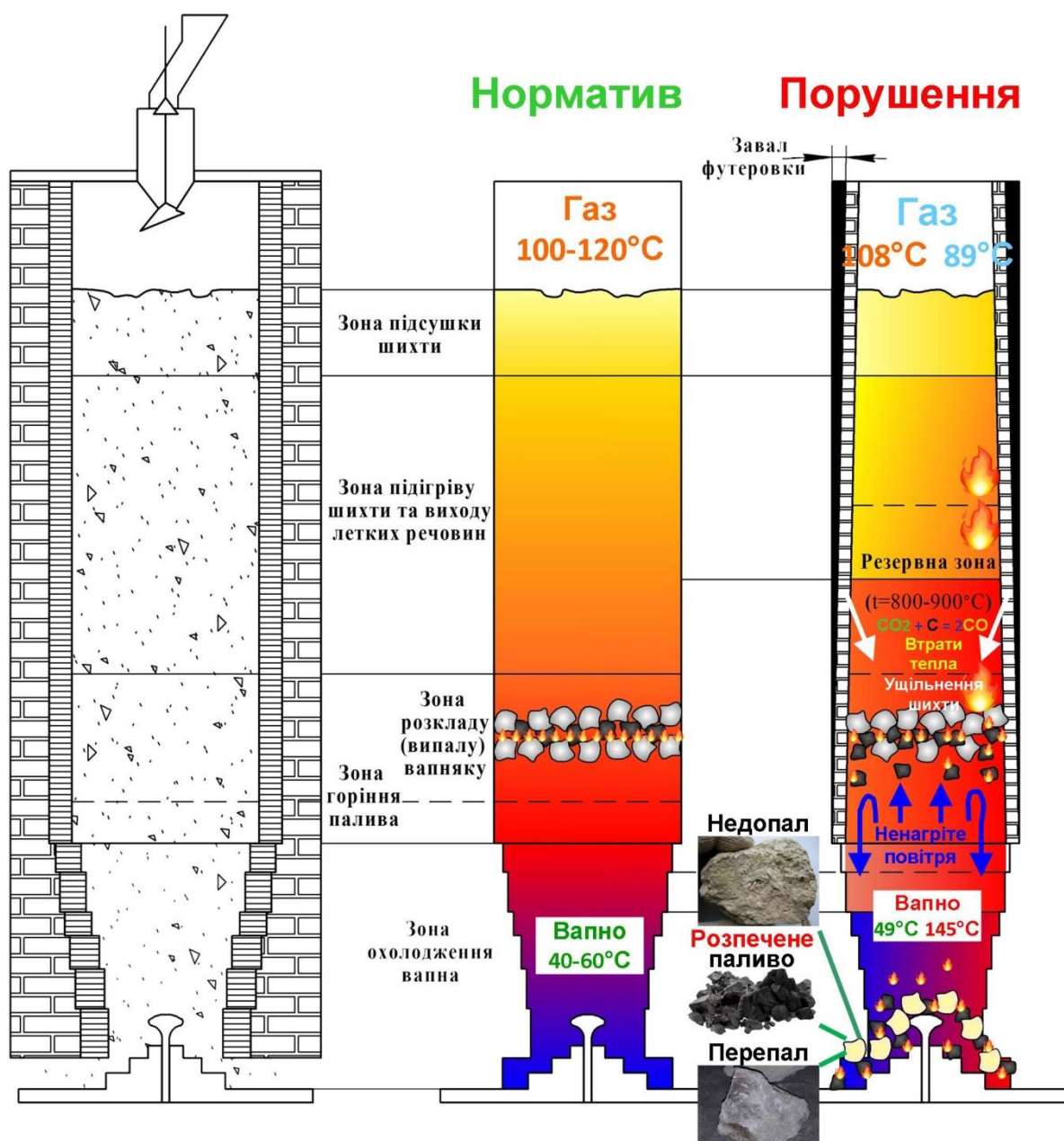


Рис. 1. Графічна інтерпретація недоліків роботи печі для випалу вапняку, що отримана в результаті виконання еколого-технологічного аудиту вапняно-газового відділення

З аналізу отриманих даних по аудиту, що наведені на рисунку 1 виокремлено такі недоліки:

- часткова невідповідність фракції вапняку, що потрапляє на випал, корисній висоті печі;
- незадовільно організований відсів шихти, що не забезпечує відсів необхідної фракції дріб'язку;
- невідповідність співвідношення фракції палива і вапняку, що надходить на випал;
- додаткове ущільнення шихти за рахунок завалу футеровки.
- як наслідок ущільнення шихти та недостатня кількість повітря для випалу вапняку;
- як наслідок, перекош зони горіння палива;
- як наслідок, зміщення зони горіння вниз;

Ситуація, що склалася призводить до утворення значної кількості CO у сатураційному газі, пічному газі та викидах з сатураторів. Таблиця 3 містить результати визначення кількості шкідливих викидів із відпрацьованого сатураційного газу в

атмосферу. Значення, що вказані в таблиці є середніми значеннями з п'яти паралельних вимірів, що не перевищують похибку від середнього значення не більше ніж на 10%.

Таблиця 3

**Результати визначення кількості шкідливих викидів в атмосферу
із відпрацьованим сатураційним газом**

№ з/п	Найменування показника	Усереднене значення в сумі по 2-печах	Одиниці виміру
I Сатурація			
1.	Кількість CO ₂ , що виходить в атмосферу	12,702±0,0520	т/добу
		0,530±0,0022	т/год
		147,014±0,6111	г/с
2.	Кількість CO, що виходить в атмосферу	3,383±0,0110	т/добу
		0,141±0,0005	т/год
		39,154±0,1273	г/с
II Сатурація			
3.	Кількість CO ₂ , що виходить в атмосферу	14,574±0,0480	т/добу
		0,608±0,0020	т/год
		168,683±0,5560	г/с
4.	Кількість CO, що виходить в атмосферу	2,095±0,0150	т/добу
		0,087±0,0006	т/год
		24,239±0,1736	г/с

Із аналізу даних таблиці 2 видно, що кількість CO₂, що виходить в атмосферу з апарату I сатурації становить 147,014±0,6111 г/с, відповідно кількість CO – 39,154±0,1273 г/с. Кількість CO₂, що виходить в атмосферу з апарату II сатурації становить 168,683±0,5560 г/с, відповідно кількість CO – 24,239±0,1736 г/с.

В даному випадку це пов'язано з поганим відсівом компонентів шихти від дріб'язку та пилю, а також неправильним співвідношенням фракції палива. Причинами цього є: невідповідність фракції вапняку корисній висоті печі, надмірне використання палива, поява резервної зони та зміщення зони горіння вниз печі. Через це паливо «просипається» через всю шахту печі, що призводить до значної втрати палива через механічний недопал. Шматки палива, що провалилися, будуть частково догорати в зоні охолодження, що збільшує температуру вапна, що вивантажується.

На додаток до цього спостерігається перекис зони горіння, про що свідчить різна температури випаленого вапна та пічного газу по поздовжньому перерізі печі. Цей перекис був результатом попадання дріб'язку за завантаження печі і хаотичного «просипання» його по всій висоті печі, оскільки робота розподільного пристрою за завантаження шихти була задовільною.

Крім того, було встановлено, що футеровка печі «похилилася» всередину шахти печі. Нахилена футеровка буде давити на шихту в печі, збільшуючи її ущільнення. Це призвело до того, що повітря не може потрапити на випал вапняку та стабілізувати положення зони горіння. У результаті цього ситуація значно погіршується.

За рахунок всього цього збільшується довжина зони горіння, з'являється резервна зона і відповідно маємо збільшення кількості CO, оскільки підвищений вміст CO обумовлений реакцією відновлення CO₂ на поверхні розпеченого палива, що відбувається у вузькій зоні яка знаходиться на межі зони випалу та зони підігріву (t=800-900°C) [4–6, 11, 12].



Високий вміст CO у викидах в атмосферу, на пряму залежить від його вмісту у складі пічного газу і сатураційного газу. Тому, в першу чергу, необхідно виконати рекомендації щодо налагодження режиму випалу вапнякового каменю:

- забезпечити фракцію вапняку відповідну висоті печі. Оскільки на випал разом з крупнофракційним вапняком надходить дрібна фракція, то варто відрегулювати розмір вічок сита вапняку таким чином, щоб забезпечити розмір фракції для випалу наближену до 80×150 мм, менше потрібно відсівати;

- забезпечити відповідну фракцію палива, оскільки на випал надходить дрібна фракція палива, то варто відрегулювати розмір вічок сита відсіву палива таким чином щоб забезпечити розмір фракції для випалу наближену до 30×80 мм, менше 30 мм необхідно відсівати, більше 80 подрібнювати;

- необхідно забезпечити співвідношення фракції палива і вапняку, для коксу – 1:2. Якщо врахувати, що в середньому розмір фракції вапняку складає 80×120 то розмір фракції палива має бути не менше 40×60 ;

- обов'язково у ремонтний період усунути «завалювання» футеровки печі.

Зниження концентрації оксиду вуглецю в пічних газах має велике практичне значення [6]. Зокрема, за згоряння $1 \text{ м}^3 \text{ CO}$ виділяється 3045 ккал тепла. Якщо у вихідних газах міститься 2% об. CO , а об'єм газів на 1 т вапна складає 2000 м^3 , то об'єм оксиду вуглецю в пічному газі буде:

$$V_{\text{CO}} = 2000 \times 0,02 = 40 \text{ м}^3, \quad (2)$$

За згоряння цієї кількості CO може виділитись $40 \times 3045 = 121800$ ккал, що рівноцінно $121800 / 7000 = 17,4$ кг умовного палива.

Отже зниження вмісту CO в газах на 1% може зберегти приблизно 8,7 кг умовного палива на 1 т вапна [6].

Для зменшення шкідливих викидів в атмосферу діоксиду вуглецю слід:

- встановлювати сатуратори сучасної конструкції з високим коефіцієнтом утилізації CO_2 [25, 37–39];

- встановлювати на комунікаціях викидів в атмосферу з карбонізаторів відпрацьованих сатураційних газів спеціально сконструйованих пристроїв для додаткової утилізації CO_2 і тепла [12, 17];

- утилізувати CO_2 шляхом отримання карбонату амонію із аміачних розчинів [15] з подальшим його використанням в якості компоненту сільськогосподарських добрив [40];

- забезпечити можливість вдування чистого CO_2 на сатурацію за наявності на заводі дільниці отримання біоетанолу, де вуглекислий газ є відходом із вмістом майже 95% [12, 35];

- для зменшення кількості вуглекислого газу на одиницю виробленої продукції, отримувати CO_2 шляхом випалу фільтраційного карбонізованого осаду [17, 36], що є відходом виробництва.

Висновки. Таким чином, для пічного газу встановлений технологічний норматив допустимих викидів відповідно до законодавства – 15000 мг/м^3 . Оскільки очищений та охолоджений пічний газ є сатураційним газом і він же є відпрацьованим сатураційним газом після сатураторів (викиди). То доцільно допустимі викиди CO з сатураторів розглядати в контексті технологічного нормативу допустимих викидів – 15000 мг/м^3 .

Крім усунення недоліків роботи печей цукрових заводів, необхідно розробити нові дозволи на викиди, які будуть відображати реальні нормативи викидів забруднюючих речовин для стаціонарних джерел викидів, таких як сатуратори. Такі дозволи повинні бути узгоджені і розроблені разом з екологічною службою. Оскільки викиди забруднюючих речовин, таких як CO , із сатураторів можуть становити до 1% об., навіть у печі, яка працює нормально і має правильний технологічний режим випалу вапняку. Це означає, що загальна кількість викидів CO може становити приблизно 20 г/с.

З метою зменшення шкідливих викидів в атмосферу CO₂ слід цукровим підприємствам взяти курс на застосування технологій «рециклінгу», що дозволять зменшити його викиди на одиницю виробленої продукції.

Розроблено рекомендації щодо налагодження режиму випалу вапнякового каменю, отримані на основі еколого-технологічного аудиту вапняно-газового відділення. Це дозволить адаптувати викиди забруднюючих речовин CO та CO₂ цукрових заводів до вимог Європейських нормативів.

Зменшення витрат на викиди вуглекислого газу (CO₂), що міститься в сатураційному газі, який використовується в технологічних процесах цукробурякового виробництва, а також зменшення суми штрафів за перевищення викидів оксиду вуглецю (CO) разом із відпрацьованим сатураційним газом, матиме позитивний вплив на економіку цукрового заводу.

Бібліографія

1. CEFS position paper: the path to carbon neutrality by 2050 must be supported by solid legal and financial tools, p. 6. European Association of Sugar Manufacturers. Brussels. 07.09.2020. [Електронний ресурс]. (дата звернення 13.08.2024). <https://cefs.org/wp-content/uploads/2020/09/CEFS-position-paper-on-carbon-neutrality.pdf>.
2. CEFS EFFAT Joint statement on just-transition: Just transition in the EU beet sugar sector EFFAT-CEFS joint statement, p. 2. European Association of Sugar Manufacturers. Brussels. 24.05.2024. [Електронний ресурс]. (дата звернення 13.08.2024). <https://cefs.org/wp-content/uploads/2024/05/CEFS-EFFAT-Joint-statement-on-just-transition.pdf>.
3. Верченко Л. М. Влияние компонентов сатурационного газа и режимов получения известкового молока на качество соков свеклосахарного производства : дис. ... канд. техн. наук : 05.18.05 «Технология сахаристых веществ». Верченко Лидия Михайловна. Киев: ВНИИСП 1989. 202 с.
4. Панов В. В., Науменко В. Д., Баранов В. И. Совершенствование работы известкового отделения сахарных заводов. К.: ИПДО НУПТ, 2004. 76 с.
5. Верченко Л. М., Кос Т. С., Василів В. П. Карбонатна сировина та паливо для одержання вапна в цукровому виробництві. Цукор України. 2011. № 9–10. С. 28–36.
6. Штангеев К. О. Отримання вапна та сатураційного газу: Звіт проекту «Підвищення енергоефективності та стимулювання використання відновлюваної енергії в агро-харчових та інших малих та середніх підприємствах України», що виконується Агенством ООН з питань промислового розвитку (ЮНІДО) за підтримки Глобального Екологічного Фонду. К.: ЮНІДО, 2015. 61 с.
7. Vyerchenko L., Tkachenko S., Sheiko T., Kos T., Dzhohan O., Vasuliv V. The Study of Calcium Hydroxide Structure and its Physico-Chemical and Electrokinetic Properties in Sugar Production. Chemistry & Chemical Technology. 2019. 13. P. 477–481. <https://doi.org/10.23939/chcht13.04.477>.
8. Alaghbary, Adeeb Carbonation Process in Sugar Refinery. ResearchGate. 2024 <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33538.90564>.
9. Верченко Л. М., Кос, Т. С. Методика розрахунку шкідливих викидів в атмосферу із відпрацьованим сатураційним газом. Цукор України. 2010. № 4. С. 42–45.
10. Пономаренко В. В., Пушанко М. М., Лементар С. Ю., Люлька Д. М. Очисник сатураційного газу. Цукор України. 2014. № 12. С. 11–13.
11. Хомічак Л. М., Верченко Л. М., Петриченко І. Б., Резніченко Ю. М. Технологічне вапно, сатураційний газ і екологія: сучасні реалії: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції «Перспективи розвитку цукрової промисловості України», 31 березня – 1 квітня 2016 рр. Київ: НУХТ, 2016. С. 33–35.
12. Хомічак Л. М., Верченко Л. М., Петриченко І. Б., Резніченко Ю. М. Взаємовплив функціонування вапняно-газової печі і станції вапнокарбонізації на ефективність роботи заводу та екологію навколишнього середовища. Цукор України. 2017. № 2. С. 16–18.
13. Верченко Л. М., Шевцов Л. Д. Вплив оксиду вуглецю (CO) на процес карбонізації та якісні показники соків. Цукрова Галузь. Науково-інформаційний вісник. Жовтень 2017. № 4. С. 5–10.

14. Верченко Л. М., Педос А. Г. Вплив кисню карбонізаційного газу на якість соків цукрового виробництва. Цукрова Галузь/Науково-інформаційний вісник. Листопад 2017. № 5. С. 5–9.
15. Lixiao Luo, Wei Zhang, Yu Zhang, Dongdong Feng, Yuzhi Li, Xishan Zhu, Haibo Ye, Weichong Chen, Yingsen Qin Study on life-cycle carbon emission accounting of cane sugar products based on ammonia-based CO₂ capture method. Sustainable Energy Technologies and Assessments. 2024. Volume 68. 103858. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.103858>.
16. Kuo Li, Mingyue Zhao, Yingchun Li, Yutong He, Xue Han, Xin Ma, Fen Ma, Spatiotemporal Trends of the Carbon Footprint of Sugar Production in China. Sustainable Production and Consumption. 2024. Volume 46. P. 502–511. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.03.010>.
17. Bahamin Bazooyar, Ali Nabavi, Peter Clough, Edward J. Anthony, Vasilije Manovic, Towards decarbonisation of sugar refineries by calcium looping: Process integration, energy optimisation and technoeconomic assessment. Energy Conversion and Management. 2024. Volume 314. 118597. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118597>.
18. Hannah Green, Peter Larsen, Yang Liu, Paul N. Nelson, Carbon dioxide removal via weathering of sugarcane mill ash under different soil conditions. Applied Geochemistry. 2024. Volume 165. 105940. ISSN 0883-2927. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2024.105940>.
19. Folprechtova A., Hanslian L. A rather rare case of carbon monoxide poisoning in a sugar mill. Pracovni Lekarstvi. 1979. 31 (4), P. 141–143.
20. Окис вуглецю (чадний газ). [Електронний ресурс]. (дата звернення 13.08.2024). <https://empendium.com/ua/chapter/B27.II.20.10>.
21. Опара Н. М., Дударь Н. І. Чадний газ: вплив на організм людини, способи індивідуального захисту і безпечної поведінки. Аспекти безпеки праці, життя та довкілля людини : тези доповідей VI регіональної міжвузівської науково-практичної конференції 28 березня 2013 р.. Полтава : ПДАА, 2013. С. 42–45.
22. Діоксид вуглецю. [Електронний ресурс]. (дата звернення 13.08.2024). https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D1%96%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%B4_%D0%B2%D1%83%D0%B3%D0%BB%D0%B5%D1%86%D1%8E.
23. Як CO₂ впливає людину при надлишку в приміщенні?. [Електронний ресурс]. (дата звернення 13.08.2024). <https://ventbazar.ua/uk/blog/chto-takoye-co2>.
24. De Figueiredo, E.B., Panosso, A.R., Romão, R. et al. Greenhouse gas .emission associated with sugar production in southern Brazil. Carbon Balance Manage. 2010. 5(1):3. <https://doi.org/10.1186/1750-0680-5-3>.
25. Виговський В. Ю., Хомічак Л. М., Петриченко І. Б., Калініченко О. М., Белостоцький Л. Г. Підвищення ефективності роботи сатураторів цукробурякового виробництва. Цукор України. 2002. № 2. С. 1–9.
26. Закон України про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів. [Електронний ресурс]. (дата звернення 13.08.2024). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/377-20>.
27. Наказ Мінприроди від 22.10.2008 №541 «Про затвердження технологічних нормативів допустимого викиду забруднюючих речовин із теплосилових установок, номінальна теплова потужність яких перевищує 50 МВт». [Електронний ресурс]. (дата звернення 13.08.2024) <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1110-08#Text>.
28. Наказ Міністерства охорони навколишнього природного середовища України від 17.09.2010 № 407 “Методичних рекомендацій щодо оформлення дозволу на викиди забруднюючих речовин в атмосферне повітря стаціонарними джерелами для суб’єктів господарювання з урахування технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря”. [Електронний ресурс]. (дата звернення 13.08.2024). <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0407617-10#Text>.
29. Наказ Міністерства Екології та Природних Ресурсів України від 01.07.2015 №260 «Про затвердження Технологічних нормативів допустимих викидів забруднюючих речовин із устаткування (установки) для виробництва вапна в обертових випалювальних печах, виробнича потужність яких перевищує 50 тонн на день, або в інших печах, виробнича потужність яких перевищує 50 тонн на день». [Електронний ресурс]. (дата звернення 13.08.2024). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0878-15#Text>.
30. Верченко Л. М., Кос, Т. С. Методика розрахунку кількості пічного газу, який виходить із вапняної печі та подається на сатурацію. Харчова промисловість. 2010. № 9. С. 5-7.

31. Наказ Міністерства енергетики та захисту довкілля України від 28.04.2020 року № 277) “Про затвердження Методики розрахунку розмірів відшкодування збитків, які заподіяні державі в результаті наднормативних викидів забруднюючих речовин в атмосферне повітря”. [Електронний ресурс]. (дата звернення 13.08.2024). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0414-20#Text>.

32. Податковий кодекс України. [Електронний ресурс]. (дата звернення 13.08.2024). https://ips.ligazakon.net/document/t10_2755?an=23866.

33. Чи вплине збільшення податку на CO₂ на екологічний стан в країні? [Електронний ресурс]. (дата звернення 13.08.2024). <https://razumkov.org.ua/statti/chy-vplyne-zbilshennia-podatku-na-so2-na-ekologichnyi-stan-v-kraini>.

34. Divya Baskaran, Panchamoorthy Saravanan, L. Nagarajan, Hun-Soo Byun, An overview of technologies for capturing, storing, and utilizing carbon dioxide: Technology readiness, large-scale demonstration, and cost. Chemical Engineering Journal. 2024. Volume 491. 151998, ISSN 1385-8947. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.151998>.

35. Данілова, К. О. Дослідження процесу карбонізації вапнованого дифузійного соку в цукровому виробництві. Продовольчі ресурси. 2023. 11 (21). С. 73–83. <https://doi.org/10.31073/foodresources2023-21-07>.

36. Хомічак Л. М., Кузнецова І. В., Зайчук М. В., Джоган О. І., Зайчук Л. П., Бондар М. В. Дослідження термічно модифікованого дефекату та його застосування для очищення транспортерно-мийної води. Продовольчі ресурси. 2023. 11 (21). С. 159–166. <https://doi.org/10.31073/foodresources2023-21-16>.

37. Хомічак Л. М. Наукове обґрунтування та розроблення способів очищення дифузійного соку: дис. ... д-ра техн. наук : 05.18.05 «Технологія цукристих речовин» / Хомічак Любомир Михайлович. Київ. НУХТ, 2003. 447 с.

38. Хомічак Л. М., Петриченко І. Б., Виговський В. Ю. Проведення першої сатурації в апараті з внутрішніми секційними циркуляційними контурами. Харчова промисловість. 2001. № 1. С. 57–59.

39. Виговський В. Ю., Хомічак Л. М., Петриченко І. Б., Калініченко О. М., Мірошник В. О., Скорик К. Д. Вплив конструкційних елементів сатуратора на кратність циркуляції. Цукор України. 2011. № 4. С. 38–42.

40. Sugumar Mohanasundaram, Venkatramanan Varadharajan, Mayakannan Selvaraju, Sivasubramanian Manikandan, Subbaiya Ramasamy, Mani Jayakumar, Venkatesa Prabhu Sundramurthy, Gurunathan Baskar, Arivalagan Pugazhendhi, Green ammonia as peerless entity for realm of clean-energy carrier toward zero carbon emission: Purviews, neoteric tendencies, potentialities and downsides. Fuel. 2024. Volume 365. 131118. ISSN 0016-2361. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.131118>.

References

1. CEFS position paper: the path to carbon neutrality by 2050 must be supported by solid legal and financial tools, p. 6. European Association of Sugar Manufacturers. Brussels. 07.09.2020. [Elektronnyi resurs]. (data zvernennia 13.08.2024). <https://cefs.org/wp-content/uploads/2020/09/CEFS-position-paper-on-carbon-neutrality.pdf>.

2. CEFS EFFAT Joint statement on just-transition: Just transition in the EU beet sugar sector EFFAT-CEFS joint statement, p. 2. European Association of Sugar Manufacturers. Brussels. 24.05.2024. [Elektronnyi resurs]. (data zvernennia 13.08.2024). <https://cefs.org/wp-content/uploads/2024/05/CEFS-EFFAT-Joint-statement-on-just-transition.pdf>.

3. Verchenko L. M. (1989) Vliyanie komponentov saturatsionnogo gaza i rezhimov polucheniya izvestkovogo moloka na kachestvo sokov sveklosakharnogo proizvodstva : dis. ... kand. tekhn. nauk : 05.18.05 «Tekhnologiya sakharistikh veshchestv» [Influence of components of saturation gas and regimes of lime milk production on the quality of juices beet sugar production : diss. ... Candidate of Technical Sciences : 05.18.05 "Technology of sugars sugar substances"]/ Verchenko Lidiya Mikhailovna. Kiev: VNIISP. 202 p. [in Ukrainian].

4. Panov V. V., Naumenko V. D., Baranov V. I. (2004). Sovershenstvovanie raboti izvestkovogo otdeleniya sakharikh zavodov [Improvement of operation of the lime department of sugar factories]. Kiev: IPE NUFT. 76 p. [in Ukrainian].

5. Vierchenko L. M., Kos T. S., Vasylyv V. P. (2011). Karbonatna syrovyna ta palyvo dlia oderzhannia vapna v tsukrovomu vyrobnytstvi [Carbonate raw materials and fuel for lime production in sugar production]. Tsukor Ukrainy [Sugar of Ukraine]. № 9–10. P. 28–36. [in Ukrainian].

6. Shtanheiev K. O (2015) Otrymannia vapna ta saturatsiinoho hazu: Zvit proektu «Pidvyshchennia enerhoefektyvnosti ta stymuliuvannia vykorystannia vidnovliuvanoi enerhii v ahro-kharchovykh ta inshykh malykh ta serednykh pidpriemstvakh Ukrainy», shcho vykonuietsia Ahenstvom OON z pytan promyslovoho rozvytku (IuNIDO) za pidtrymky Hlobalnoho Ekolohichnoho Fondu [Production of lime and saturated gas: Report of the project "Improving energy efficiency and promoting the use of renewable energy in agro-food and other small and medium-sized enterprises of Ukraine", implemented by the United Nations Industrial Development Agency (UNIDO) with the support of the Global Environment Facility]. Kyiv. UNIDO. 61 p. [in Ukrainian].
7. Vyerchenko, L., Tkachenko, S., Sheiko, T., Kos, T., Dzhohan, O., Vasuliv, V. (2019). The Study of Calcium Hydroxide Structure and its Physico-Chemical and Electrokinetic Properties in Sugar Production. *Chemistry & Chemical Technology*. 13. P. 477–481. <https://doi.org/10.23939/chcht13.04.477>
8. Alaghbary, Adeeb (2024). Carbonation Process in Sugar Refinery. ResearchGate <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.33538.90564>.
9. Vierchenko L. M., Kos, T. S. (2010) Metodyka rozrakhunku shkidlyvykh vykydiv v atmosferu iz vidpratsovanym saturatsiinym hazom [Methodology for calculating harmful emissions into the atmosphere from waste saturation gas]. *Tsukor Ukrainy [Sugar of Ukraine]*. № 4. P. 42–45. [in Ukrainian].
10. Ponomarenko V. V., Pushanko M. M., Lementar S. Yu., Lyulka D. M. (2014). Ochysnyk saturatsiinoho hazu [Saturation gas purifier]. *Tsukor Ukrainy [Sugar of Ukraine]*. № 12. P. 11–13. [in Ukrainian].
11. Khomichak L. M., Verchenko L. M., Petrychenko I. B., Reznichenko Yu. M. (2016). Tekhnolohichne vapno, saturatsiinyi haz i ekolohiia: suchasni realii: materialy Mizhnarodnoi naukovo-tekhnichnoi konferentsii «Perspektyvy rozvytku tsukrovoy promyslovosti Ukrainy», 31 bereznia – 1 kvitnia 2016 r. [Process Lime, Saturation Gas and Ecology: Modern Realities: Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Prospects for the Development of the Sugar Industry of Ukraine", March 31–April 1, 2016.]. Kiev. NUFT. P. 33–35. [in Ukrainian].
12. Khomichak L. M., Verchenko L. M., Petrychenko I. B., Reznichenko Yu. M. (2017) Vzaiemovplyv funktsionuvannia vapniano-hazovoi pechi i stantsii vapnokarbonizatsii na efektyvnist roboty zavodu ta ekolohiiu navkolyshnoho seredovyshcha [Interaction of lime-gas kiln and lime-carbonation plant operation on plant efficiency and environmental impact]. *Tsukor Ukrainy [Sugar of Ukraine]*. № 2. P. 16–18. [in Ukrainian].
13. Vierchenko L.M., Shevtsov L.D. (2017). Vplyv oksydu vuhletsiiu (CO) na protses karbonizatsii ta yakisni pokaznyky sokiv [Influence of carbon monoxide (CO) on the carbonization process and juice quality]. *Tsukrova Haluz/Naukovo-informatsiinyi visnyk [Sugar Industry / Scientific and Information Bulletin]*. № 4. P. 5–10. [in Ukrainian].
14. Vierchenko L.M., Pedos A.H. (2017). Vplyv kysniu karbonizatsiinoho hazu na yakist sokiv tsukrovoho vyrobnytstva [Influence of carbonization gas oxygen on the quality of sugar production juices]. *Tsukrova Haluz/Naukovo-informatsiinyi visnyk [Sugar Industry / Scientific and Information Bulletin]*. № 5. P. 5–9. [in Ukrainian].
15. Lixiao Luo, Wei Zhang, Yu Zhang, Dongdong Feng, Yuzhi Li, Xishan Zhu, Haibo Ye, Weichong Chen, Yingsen Qin (2024). Study on life-cycle carbon emission accounting of cane sugar products based on ammonia-based CO₂ capture method. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*. Volume 68. 103858. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2024.103858>.
16. Kuo Li, Mingyue Zhao, Yingchun Li, Yutong He, Xue Han, Xin Ma, Fen Ma, Spatiotemporal Trends of the Carbon Footprint of Sugar Production in China. *Sustainable Production and Consumption*. 2024. Volume 46. P. 502–511. <https://doi.org/10.1016/j.spc.2024.03.010>.
17. Bahamin Bazooyar, Ali Nabavi, Peter Clough, Edward J. Anthony, Vasilije Manovic, (2024). Towards decarbonisation of sugar refineries by calcium looping: Process integration, energy optimisation and technoeconomic assessment. *Energy Conversion and Management*. Volume 314. 118597. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2024.118597>.
18. Hannah Green, Peter Larsen, Yang Liu, Paul N. Nelson (2024). Carbon dioxide removal via weathering of sugarcane mill ash under different soil conditions. *Applied Geochemistry*. Volume 165. 105940. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2024.105940>.
19. Folprechtova A., Hanslian L. (1979). A rather rare case of carbon monoxide poisoning in a sugar mill. *Pracovni Lekarstvi*. 31 (4), P. 141–143.

20. Okys vuhletsiu (chadnyi haz) [Carbon monoxide]. [Elektronni resurs]. (date of access 13.08.2024). <https://empendium.com/ua/chapter/B27.II.20.10>.

21. Opara N. M., Dudar N. I. (2013). Chadnyi haz: vplyv na orhanizm liudyny, sposoby individualnoho zakhystu i bezpechnoi povedinky. Aspekty bezpeky pratsi, zhyttia ta dovkillia liudyny : tezy dopovidei VI rehionalnoi mizhvuzivskoi naukovo-praktychnoi konferentsii 28 bereznia 2013 r. [Carbon monoxide: impact on the human body, methods of personal protection and safe behavior. Aspects of safety of human labor, life and environment: abstracts of the VI regional inter-university scientific and practical conference on March 28, 2013.]. Poltava. PDAA. P. 42–45. [in Ukrainian].

22. Dioksyd vuhletsiu [Carbon dioxide]. [Elektronni resurs]. (date of access 13.08.2024). https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D1%96%D0%BE%D0%BA%D1%81%D0%B8%D0%B4_%D0%B2%D1%83%D0%B3%D0%BB%D0%B5%D1%86%D1%8E.

23. Yak CO₂ vplyvaie liudynu pry nadlyshku v prymishchenni? [How does CO₂ affect humans when there is an excess in the room?]. [Elektronni resurs]. (date of access 13.08.2024). <https://ventbazar.ua/uk/blog/chto-takoye-co2>.

24. De Figueiredo, E. B., Panosso, A. R., Romão, R. et al. (2010). Greenhouse gas emission associated with sugar production in southern Brazil. Carbon Balance Manage. 5 (1):3. <https://doi.org/10.1186/1750-0680-5-3>.

25. Vyhovskiy V. Yu., Khomichak L. M., Petrychenko I. B., Kalinichenko O. M., Bielostotskiy L. H. (2002). Pidvyshchennia efektyvnosti roboty saturatoriv tsukroburiakovoho vyrobnytstva [Improving the efficiency of sugar beet production saturators]. Tsukor Ukrainy [Sugar of Ukraine]. № 2. P. 1–9. [in Ukrainian].

26. Zakon Ukrainy pro zasady monitorynhu, zvitnosti ta veryfikatsii vykydiv parnykovykh haziv [The Law of Ukraine on the Principles of Monitoring, Reporting and Verification of Greenhouse Gas Emissions]. [Elektronni resurs]. (date of access 13.08.2024). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/377-20>.

27. Nakaz Minpryrody vid 22.10.2008 №541 «Pro zatverdzhennia tekhnolohichnykh normatyviv dopustymoho vykydu zabrudniuiuchykh rehovyn iz teplosylovykh ustanovok, nominalna teplova potuzhnist yakykh perevyshchuie 50 MVt» [Order of the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine No. 541 dated 22.10.2008 "On Approval of Technological Standards for Permissible Emissions of Pollutants from Thermal Power Plants with a Nominal Thermal Capacity of More than 50 MW"]. [Elektronni resurs]. (date of access 13.08.2024). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1110-08#Text>.

28. Nakaz Ministerstva okhorony navkolyshnoho pryrodnoho seredovyshcha Ukrainy vid 17.09.2010 № 407 “Metodychnykh rekomendatsii shchodo oformlennia dozvolu na vykydy zabrudniuiuchykh rehovyn v atmosferne povitria statsionarnykh dzherelamy dlia subiektiv hospodariuvannia z urakhuvannia tekhnolohichnykh normatyviv dopustymykh vykydiv zabrudniuiuchykh rehovyn v atmosferne povitria” [Order of the Ministry of Environmental Protection of Ukraine dated 17.09.2010 No. 407 "Methodological Recommendations on Issuance of Permits for Air Pollutant Emissions by Stationary Sources for Business Entities Taking into Account Technological Standards for Permissible Air Pollutant Emissions"]. [Elektronni resurs]. (date of access 13.08.2024). <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0407617-10#Text>.

29. Nakaz Ministerstva Ekolohii ta Pryrodnykh Resursiv Ukrainy vid 01.07.2015 №260 «Pro zatverdzhennia Tekhnolohichnykh normatyviv dopustymykh vykydiv zabrudniuiuchykh rehovyn iz ustatkuvannia (ustanovky) dlia vyrobnytstva vapna v obertovykh vypaliuvalnykh pechakh, vyrobnycha potuzhnist yakykh perevyshchuie 50 tonn na den, abo v inshykh pechakh, vyrobnycha potuzhnist yakykh perevyshchuie 50 tonn na den» [Order of the Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine dated 01.07.2015 No. 260 "On Approval of Technological Standards for Permissible Emissions of Pollutants from Equipment (Plant) for Lime Production in Rotary Kilns with Production Capacity exceeding 50 tons per day or in Other Kilns with Production Capacity exceeding 50 tons per day"]. [Elektronni resurs]. (date of access 13.08.2024). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0878-15#Text>.

30. Vierchenko L. M., Kos, T. S. (2010). Metodyka rozrakhunku kilkosti pichnoho hazu, yakyi vykhodyt iz vapnianoï pechi ta podaetsia na saturatsiiu [Methodology for calculating the amount of furnace gas leaving the lime kiln and supplied for saturation]. Kharchova promyslovist [Food industry]. № 9. P. 5–7. [in Ukrainian].

31. Nakaz Ministerstva enerhetyky ta zakhystu dovkillia Ukrainy vid 28.04.2020 roku № 277) “Pro zatverdzhennia Metodyky rozrakhunku rozmiriv vidshkoduvannia zbytkiv, yaki zapodiiani derzhavi v rezultati nadnormatyvnykh vykydiv zabrudniuiuchykh rehovyn v atmosferne povitria” [Order of the Ministry of Energy and Environmental Protection of Ukraine dated 28.04.2020 No. 277) "On Approval of the Methodology for Calculating the Amount of Compensation for Damages Caused to the State as a Result of

Excessive Emissions of Pollutants into the Atmospheric Air"]. [Elektronni resurs]. (date of access 13.08.2024). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0414-20#Text>.

32. Podatkovyi kodeks Ukrainy [Tax Code of Ukraine]. [Elektronni resurs]. (date of access 13.08.2024). https://ips.ligazakon.net/document/t10_2755?an=23866.

33. Chy vplyne zbilshennia podatku na SO₂ na ekolohichniy stan v kraini? [Will the increase in the CO₂ tax affect the environmental situation in the country?]. [Elektronni resurs]. (date of access 13.08.2024). <https://razumkov.org.ua/statti/chy-vplyne-zbilshennia-podatku-na-so2-na-ekologichniy-stan-v-kraini>.

34. Divya Baskaran, Panchamoorthy Saravanan, L. Nagarajan, Hun-Soo Byun (2024) An overview of technologies for capturing, storing, and utilizing carbon dioxide: Technology readiness, large-scale demonstration, and cost. Chemical Engineering Journal. Volume 491. 151998, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2024.151998>.

35. Danilova, K. O. (2023) Doslidzhennia protsesu karbonizatsii vapnovanoho dyfuziinoho soku v tsukrovomu vyrobnytstvi [Study of carbonization process of limed diffusion juice in sugar production]. Prodovolchi resursy [Food resources]. 11 (21). P. 73–83. <https://doi.org/10.31073/foodresources2023-21-07> [in Ukrainian].

36. Khomichak L. M., Kuznietsova I. V., Zaichuk M. V., Dzhohan O. I., Zaichuk L. P. & Bondar M. V. Doslidzhennia termichno modyfikovanoho defekatu ta yoho zastosuvannia dlia ochyshchennia transporterno-myinoi vody [Investigation of thermally modified defecate and its application for cleaning of conveyor and washing water]. Prodovolchi resursy [Food resources]. 11 (21). P. 159–166. <https://doi.org/10.31073/foodresources2023-21-16> [in Ukrainian].

37. Khomichak, L. M. (2003). Naukove obhruntuvannia ta rozroblennia sposobiv ochyshchennia dyfuziinoho soku: dys. ... d-ra tekhn. nauk : 05.18.05 «Tekhnolohiia tsukrystykh rehovyn» [Scientific substantiation and development of methods for purification of diffusion juice: dissertation. ... Dr. Sci: 05.18.05 "Technology of sugary substances"] / Khomichak Liubomyr Mykhailovych. Kyiv. NUFT. 447 p. [in Ukrainian].

38. Khomichak L. M., Petrychenko I. B., Vyhovskiy V. Yu. (2001). Provedennia pershoi saturatsii v aparati z vnutrishnimy sektsiinymy tsyrkuliatsiinymy konturamy [Conducting the first saturation in a device with internal sectional circulation circuits]. Kharchova promyslovist [Food industry]. № 1. P. 57–59. [in Ukrainian].

39. Vyhovskiy V. Yu., Khomichak L. M., Petrychenko I. B., Kalinichenko O. M., Miroshnyk V. O., Skoryk K. D. (2011). Vplyv konstruktsiinnykh elementiv saturatora na kratnist tsyrkuliatsii [Influence of structural elements of the saturator on the circulation rate]. Tsukor Ukrainy [Sugar of Ukraine]. № 4. P. 38–42. [in Ukrainian].

40. Sugumar Mohanasundaram, Venkatramanan Varadharajan, Mayakannan Selvaraju, Sivasubramanian Manikandan, Subbaiya Ramasamy, Mani Jayakumar, Venkatesa Prabhu Sundramurthy, Gurunathan Baskar, Arivalagan Pugazhendhi (2024). Green ammonia as peerless entity for realm of clean-energy carrier toward zero carbon emission: Purviews, neoteric tendencies, potentialities and downsides. Fuel. Volume 365. 131118. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2024.131118>.

УДК 579.864:579.67:663.41: 577.124.23

ОХМЕЛЕНЕ СУСЛО ЯК СУБСТРАТ ДЛЯ ВИРОЩУВАННЯ МОЛОЧНОКИСЛИХ БАКТЕРІЙ ЯК ПОТЕНЦІЙНИХ ПІДКИСЛЮВАЧІВ

Хабленко А. Д.^{1,2}, аспірантка, фахівець відділу біотехнології
<https://orcid.org/0000-0002-6260-2619>Даниленко С. Г.¹, д.т.н., завідувачка відділу біотехнології
<https://orcid.org/0000-0003-4470-4643>Дуган О. М.², д.б.н., професор кафедри промислової біотехнології та біофармації
<https://orcid.org/0000-0002-5646-917X>¹Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна²Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-19>

Предмет. За останні десятиліття молочнокислі бактерії (МКБ) знайшли ще одну нішу для застосування у харчовій промисловості, зокрема в крафтовому виробництві кислих сортів пива. Існує кілька технологічних підходів до виробництва цих сортів, які ґрунтуються на використанні молочнокислих бактерій. Важливим критерієм при виборі штаму МКБ є їхня стійкість до гірких сполук хмелю, що утворюються в процесі охмелення. З огляду на антимікробні властивості ізо- α -кислот, скринінг штамів МКБ, стійких до цих сполук, є актуальним для сучасного виробництва кислих сортів пива. **Мета.** Встановлення впливу охмеленого пивного суслу на ріст та здатність до кислотоутворення молочнокислих бактерій, визначення їх стійкості до ізо- α -кислот, які містяться у охмеленому пивному суслі, та оцінка можливості їх використання для виробництва кислих сортів пива. **Методи.** У роботі використано два ізоляти молочнокислих бактерій: *Lactiplantibacillus plantarum* та *Limosilactobacillus fermentum*, які культивували на неохмеленому (контроль) та охмеленому пивному суслі з різними значеннями міжнародних одиниць гіркоти (IBU) (1, 3, 5, 15, 20). Встановлення здатності до росту і кислотоутворення на початку та в кінці культивування здійснювали шляхом визначення рівней рН потенціометрично та підрахунку КУО/мл молочнокислих бактерій у суслі шляхом методом серійних розведень з подальшим висівом на агаризоване середовище МРС. **Результати.** Встановлено відсутність зміни кислотності суслу протягом часу культивування обох ізолятів. *Limosilactobacillus fermentum* може рости та продукувати на суслі з підвищеними значеннями IBU (1, 3, 5, 15). Максимальний приріст зафіксовано для значення IBU 1 – $8,47 \pm 0,09$ КУО/мл. У випадку *Lactiplantibacillus plantarum* спостерігався негативний вплив ізо- α -кислот на його життєздатність до значень $5,80 \pm 0,09$ КУО/мл. **Сфера застосування результатів.** Отримані результати свідчать про можливість подальшого дослідження культури *Limosilactobacillus fermentum* з метою впровадження у виробництво кислих сортів пива.

Ключові слова: пивне сусло, молочнокислі бактерії, кислі сорти пива, рН, *Limosilactobacillus fermentum*

HOPPED WORT AS A SUBSTRATE FOR THE CULTIVATION OF LACTIC ACID BACTERIA AS POTENTIAL ACIDIFYING AGENTS

Anna Khablenko^{1,2}, Postgraduate, Department Specialist
<https://orcid.org/0000-0002-6260-2619>Svitlana Danylenko¹, D-r of Sc., Engineering, Head of the Department of Biotechnology
<https://orcid.org/0000-0003-4470-4643>Olexii Dugan², D-r of Sc., Biological,
Professor of Department of Industrial Biotechnology and Biopharmacy
<https://orcid.org/0000-0002-5646-917X>¹Institute of Food Resources of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine²National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute"

Subject. In recent decades, lactic acid bacteria (LAB) have found a new application niche in the food industry, particularly in the craft production of sour beer varieties. Several technological approaches to producing these varieties are based on the use of LAB. An important criterion in selecting

LAB strains is their resistance to bitter hop compounds that are formed during hopping. Given the antimicrobial properties of iso- α -acids, screening LAB strains resistant to these compounds is relevant for modern sour beer production. **Purpose.** To determine the impact of hopped wort on the growth and acid production capacity of LAB, to assess their resistance to iso- α -acids contained in hopped wort, and to evaluate their potential for use in sour beer production. **Methods.** Two lactic acid bacteria isolates, *Lactiplantibacillus plantarum* and *Limosilactobacillus fermentum*, were cultured on both unhopped (control) and hopped wort with different International Bitterness Units (IBU) values (1, 3, 5, 15, 20). Growth and acid production ability at the beginning and end of the cultivation process were determined by measuring pH levels potentiometrically and counting the colony-forming units per ml (CFU/ml) of lactic acid bacteria in wort using the serial dilution method followed by plating on MRS agar medium. **Results.** No change in wort acidity was observed during the cultivation period for either isolate. *Limosilactobacillus fermentum* was able to grow and produce on wort with increased IBU values (1, 3, 5, 15), with the maximum growth recorded at IBU 1 – 8.47 ± 0.09 CFU/ml. For *Lactiplantibacillus plantarum*, a negative effect of iso- α -acids on viability was observed, with values reaching 5.80 ± 0.09 CFU/ml. **Scope of Results.** The obtained results indicate the potential for further study of the *Limosilactobacillus fermentum* culture for implementation in sour beer production.

Key words: wort, lactic acid bacteria, sour beer varieties, pH, *Limosilactobacillus fermentum*

Постановка проблеми. Пиво – широко розповсюджений алкогольний напій, однією з характерних рис якого є постійність його мікробіологічного складу [1]. Загалом вважається, що пиво стійке до псування при зберіганні, або ж до розвитку патогенних мікроорганізмів завдяки наявності факторів збереження або ж «перешкод», основними з яких є наявність етанолу (до 10% об/об), підвищений вміст вуглекислого газу (0,5% мас/мас), відносно низькі значення pH (3,9–4,4), низький вміст кисню, поживних речовин та наявність гірких сполук хмелю [2]. Комбінація наведених «перешкод» та етапів варіння пива, наприклад, кип'ятіння суслу, зазвичай є ефективними методами інгібування або запобігання росту різних шкідливих для пива мікроорганізмів, таких, наприклад, як молочнокислі бактерії (МКБ) [3], які псують пиво, шляхом зниження рівня pH, зміни смакових характеристик та підвищення каламутності, що впливає на органолептичні характеристики готового продукту [4, 5]. Встановлено, що 60–70% контамінантів пива такі види МКБ, як *Lactobacillus brevis*, *L. lindneri*, *L. paracollinoides*, *L. plantarum*, *L. buchneri*, *L. coryniformis*, *Pediococcus damnosus* тощо [3, 4].

Відмінною характеристикою МКБ як забрудників пива є здатність деяких штамів виживати у наявності гірких сполук хмелю, α -кислот (гумулонів), а саме до: (+)-гумулону, транс-ізогумулону, ксантогумолу, ізо-ксантогумолу та їх комбінацій [3, 6, 7]. Стійкість до α -кислот та здатність до росту МКБ у їх присутності обумовлена наявністю генів резистентності до хмелю (*horA* та *horC*), та поступовою адаптацією до зростаючих концентрацій α -кислот у середовищі [3, 8, 9].

Хоча виявлена особливість стійкості до хмелю у окремих «забруднюючих» штамів МКБ розглядається як негативний фактор, особливо для типових сортів пива, проте ця особливість може бути використана при виробництві крафтових сортів пива, зокрема кислих [2], які відрізняються наявністю в них МКБ та відносно низьким вмістом ізо- α -кислот – до 10 мг/л або у міжнародних одиницях гіркоти (IBU) 10 [10, 11]. На даний час існують різні технологічні режими виробництва кислих сортів пива: 1) внесення МКБ до охмелення суслу, 2) одночасне внесення МКБ та дріжджів у охмелене сусло, 3) внесення дріжджів з подальшим додаванням МКБ на охмелене сусло [10]. У випадку другого та третього технологічного режиму, наявність стійкості МКБ до хмелю є позитивним аспектом, який є перспективним в плані отримання традиційних кислих сортів, або покращення органолептичних властивостей відомих сьогодні сортів, що актуалізує дослідження здатності МКБ до росту та кислотоутворення на охмеленому пивному суслі.

Метою дослідження є встановлення впливу охмеленого пивного суслу на ріст та здатність до кислотоутворення молочнокислих бактерій, визначення їх стійкості до ізо- α -

кислот, які містяться у охмеленому пивному суслі, та оцінка можливості їх використання для виробництва кислих сортів пива.

Матеріали та методи. У роботі було використано два штами молочнокислих бактерій різного походження, а саме: *Lactiplantibacillus plantarum* (LP), виділений з бочкової ферментованої капусти та *Limosilactobacillus fermentum* (LF), виділений з вівсяного квасу. Обрані культури зберігали на типовому для культивування молочнокислих бактерій середовищі МРС (де Ман, Рогоза, Шарп), приготованому згідно з [12]. Перед проведенням досліду культури МКБ відновлювали шляхом вирощування в термостаті на середовищі МРС, за температури 37°C впродовж 18 годин.

Пивне сусло було виготовлено з використанням ячмінного солода Premium Pilsner (Weyermann), який використовується для переважної більшості сортів пива, зокрема і кислих. Сусло готувалось настійним способом затирання, шляхом поетапного збільшення температури та витримкою за наступних температурних пауз: кислотна – 35°C 30 хв; білкова – 45°C 45 хв; мальтозна – 65°C 45 хв; мешаут – 78°C 10 хв [13]. Після завершення процесу приготування сусла, рефрактометрично було визначено вміст цукру, який склав 18% Brix, що еквівалентно значенню специфічної густини сусла – 1,0741, згідно з [14, 15].

Для охмелення приготованого сусла використано хміль сорту Magnum, що містить 12% α -кислот. Охмелення проводилось шляхом додавання відповідних кількостей хмелю до об'ємів пивного сусла, розрахованого згідно з [16], з подальшим кип'ятінням впродовж 15 хвилин.

Таким чином, було отримано охмелене пивне сусло з концентраціями ізо- α -кислот (мкг/л): 1, 3, 5, 15 та 20, або у міжнародних одиницях гіркоти (IBU): 1, 3, 5, 15, 20. Перед проведенням досліду сусло було проавтоклавоване за 1 атм, протягом 15 хвилин. Після автоклавування вимірювали рН сусла.

Культури МКБ були засіяні у неохмелене сусло (контроль) та охмелене у співвідношенні культури до об'єму сусла 1:9. Культивування проводилось за температури $37 \pm 1^\circ\text{C}$, 24 години. Здатність до росту та кислотоутворення оцінювалась після внесення культури (0 годин) та після проведення культивування (24 години).

Оцінка росту штамів МКБ проводилась методом висіву серійних розведень зразків на агаризоване середовище МРС і підрахунку колоній, що вирости [17].

Здатність до кислотоутворення оцінювали рН-метрією.

Статистичний аналіз отриманих даних проводилась шляхом використання двох методів: t-критерій Стюдента – для порівняння початкових і кінцевих значень (0 і 24 години культивування) та тест Дункана – для порівняння значень між групами (різними видами сусла). Літерні позначення (a, b, c, d, e, f) вказують на значущі відмінності між групами. Середні значення, що мають різні літерні індекси, є статистично відмінними при обраному рівні значущості. Усі дослідження проводились у трикратній повторності, статистично значущими вважали значення для $p < 0,05$.

Результати та обговорення. Показники рН неохмеленого (контроль) та охмеленого сусла з різними значеннями IBU представлена у таблиці 1.

Таблиця 1

Показники рН пивного сусла з різними значеннями IBU до внесення культур

IBU	рН
0 (Контроль)	$5,33 \pm 0,01^a$
1	$5,32 \pm 0,02^{ab}$
3	$5,31 \pm 0,01^{ab}$
5	$5,30 \pm 0,01^b$
15	$5,26 \pm 0,02^c$
20	$5,12 \pm 0,03^d$

Представлені в таблиці дані свідчать, що при наявності в охмеленому пивному суслі різних концентрацій IBU, показники рН певною мірою змінювались, тобто від $5,33 \pm 0,01$ в контрольному зразку (IBU 0) до $5,12 \pm 0,03$ за IBU 20. Відомо, що на рН сусла впливає багато факторів, головним з яких є спосіб затирання, кількість і тривалість обраних температурних пауз, а також ферментативна активність солода [13]. У роботі [18] встановлено, що рН сусла після етапного затирання становить 5,50, а типовими значеннями рН сусла вважаються 5,30–5,50. Залежність значення рН

сусла, як неохмеленого, так і охмеленого пов'язана також з кількістю вуглеводів, тобто значеннями відносної густини та $a\%$ Brix, що показано у [19]. Встановлено, що для 18%-го значення Brix є типовими значення pH: до охмелення – 5,47; після охмелення 5,18 [19], що узгоджується з отриманими нами результатами.

Культивування обраних культур LF та LP протягом 24 годин з різним вмістом IBU показало деяку відмінність показника pH сусла, що відображено на рисунку 1.

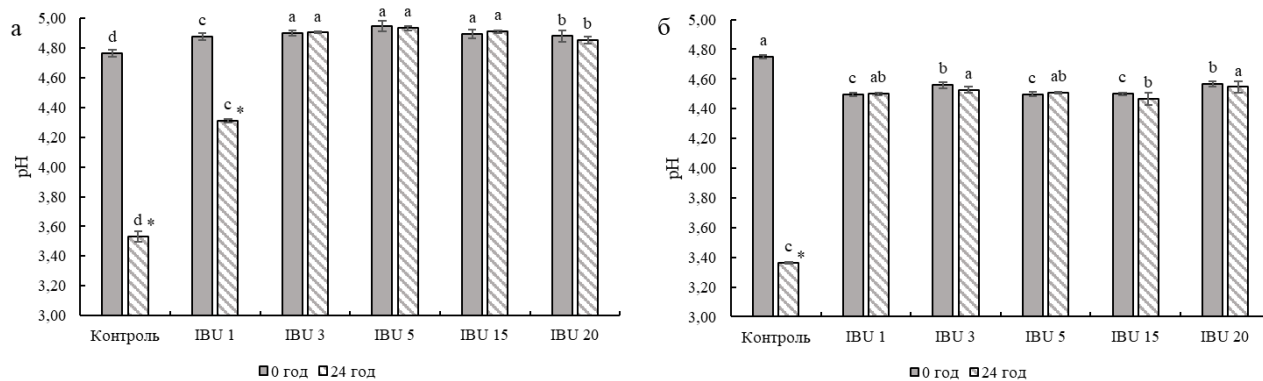


Рис. 1. Ступінь зміни pH при культивуванні ізолятів МКБ: а – LF; б – LP

Як видно з рисунку, варіанти дослідів з різними значеннями IBU показали відносно невелику різницю у зміні pH середовища (у даному випадку пивного сусла) для обох штамів МКБ тільки у зразках охмеленого сусла. Варіанти неохмеленого сусла виявили різкий зсув pH середовища в бік кислого для обох штамів наприкінці часу культивування. Однак, для контрольного сусла (неохмеленого) не спостерігається статистично значущих відмінностей між отриманими значеннями pH на початку культивування для обох штамів: LF ($4,76 \pm 0,03$) та LP – ($4,75 \pm 0,01$). У випадку збільшення концентрації ізо- α -кислот спостерігали наявність статистично значущих відмінностей для обох штамів, що пов'язано зі зміною буферних властивостей сусла [20]. Проте культура LF меншою мірою впливає на зміну pH охмеленого сусла, особливо для IBU 3, 5, 15, у той час як культура LP виявилась більш активною в зміні значень pH середовища, про що свідчить наявність статистично значущої різниці при порівнянні pH сусла з різними показниками IBU. Така різниця може бути пов'язана з більшим синтезом молочної кислоти культурою LP. Показники pH середовища через 24 години культивування також мають статистичну значущу різницю. У випадку LF спостерігається зниження pH для контролю – до $3,53 \pm 0,04$ та для IBU 1 – до $4,31 \pm 0,01$. Отримані значення вказують про можливість росту та накопичення кислоти на суслі без охмелення та найменшому вмісті ізо- α -кислот.

У випадку культури LP зміни pH протягом доби культивування спостерігаються лише на неохмеленому суслі з $4,75 \pm 0,01$ КУО/мл до $3,36 \pm 0,01$ КУО/мл. При порівнянні контрольних значень між культурами наприкінці культивування видно, що штам LP накопичує більше кислоти, порівняно з LF, однак кислотоутворення штамом LP, при мінімальному IBU, не спостерігається. При значеннях IBU від мінімального 1 до максимального 20 різниця у коливанні значень pH не була статистично значущою. Аналогічно культура LF не змінювала pH після 24-годинного культивування на суслі з IBU від 3 до 20. Таким чином, можна зробити висновок про негативний ефект вмісту ізо- α -кислот (IBU 1-20 для LP і LF 3-20) на кислотоутворення та ріст досліджуваних штамів МКБ.

Культивування *Lactobacillus brevis* WLP672 на неохмеленому суслі, проведене у дослідженні [21] вказує на здатність до зниження pH до 3,6 після 48-годинного культивування. Використання *L. buchneri* CD034 при культивуванні на неохмеленому суслі також вказує на здатність до кислотоутворення до pH $4,11 \pm 0,01$ після 24 годинного культивування [22]. У дослідженні [11] отримані збіжні значення pH після культивування резистентних до хмелю штамів *Lactobacillus paracasei* F19 і *Lactobacillus*

paracasei 431. Початкове значення рН охмеленого сусла склало 5,9, після добового культивування штамів МКБ рН знизився до 4,6 та 4,7 відповідно. Проте IBU сусла склав 26,65, що значно перевищує дослідний.

Паралельно з дослідженням зміни рН, визначали здатність до росту штамів МКБ, що продемонстровано на рис. 2.

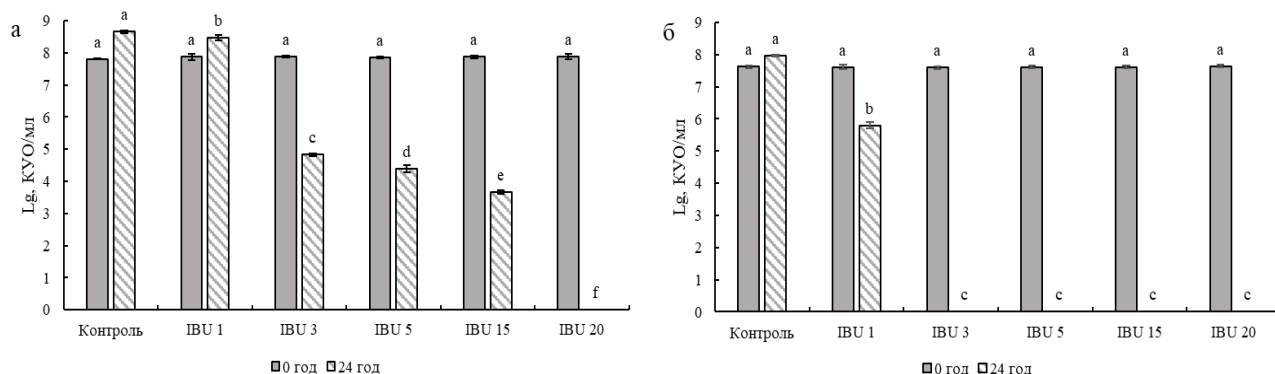


Рис. 2. Зміна кількості клітин при культивуванні ізолятів МКБ (lg КУО/мл):
а – LF; б – LP

Обидва штами мають здатність до росту на неохмеленому (контрольному) суслі до значень $8,66 \pm 0,05$ КУО/мл та $7,96 \pm 0,03$ КУО/мл для LF та LP відповідно. Можна відзначити вищі значення у штаму LF, порівняно з LP (рис. 1.a), що свідчить про більш сприятливі умови сусла для його росту. Спостерігається здатність до росту на пивному суслі з IBU 1, після проведення культивування значення склало $8,47 \pm 0,09$ КУО/мл. Культивування на суслі з більшими значеннями IBU свідчать про негативний вплив вищих концентрацій ізо- α -кислот на штаму LP. Спостерігається поступове зменшення значення Lg КУО/мл одночасно з підвищенням IBU. Штаму може зберігати свою життєздатність на суслі з IBU 15 до значення $3,67 \pm 0,06$ КУО/мл. У випадку найвищого IBU 20 не виявлено життєздатних клітин після 24 годин культивування, що свідчить про відсутність резистентності до 20 мг/л ізо- α -кислот у суслі у обох досліджуваних ізолятів МКБ. Результат вирощування штаму LP на суслі з IBU 1 свідчить про несприятливі умови, про що свідчить зменшення життєздатних клітин до $5,80 \pm 0,09$ КУО/мл. Культивування на інших зразках охмеленого сусла зі значеннями IBU від 3 до 20 не показало позитивних результатів, після 24 годин культивування не виявлено життєздатних клітин штаму LP. Отримані показники свідчать про відсутність стійкості до ізо- α -кислот у культури LP.

У дослідженні [11] культивування стійких до хмелю штамів *Lactocaseibacillus paracasei* F19 і *Lactocaseibacillus paracasei* 431 показало їх виживаність та здатність до росту на суслі з IBU 26,65. Встановлена здатність до росту штамів при культивуванні протягом 7 діб до значення $3,63 \pm 1,07$ КУО/мл для F19 та $3,66 \pm 0,46$ КУО/мл для 431. При подальшому додаванні дріжджів та зберіганні пива, на 28-му добу проведення дослідів, виявлено збільшення біомаси до $6,52 \pm 0,13$ КУО/мл та $6,46 \pm 0,13$ КУО/мл [11]. Збіжні результати виявлені для *Lactocaseibacillus paracasei* F19 при культивуванні на суслі з різними значеннями IBU. Встановлено, що після добового вирощування на суслі з IBU 0 приріст біомаси склав $7,94 \pm 0,25$ КУО/мл, для IBU 20 – $7,72 \pm 0,27$ КУО/мл, IBU 40 – $6,65 \pm 0,30$ КУО/мл [23]. У дослідженні [24] встановлено мінімальні інгібуючі концентрації транс-ізогумулоу після 5 добового культивування штамів МКБ на MPC з різними концентраціями α -кислоти. Виявлено відсутність росту для *Lactobacillus brevis* BSO 31 за концентрації ізогумулоу 120 ммоль/л, *Lactobacillus casei* var. *rhamnosus* BSO 29 – 12 ммоль/л, *Lactobacillus plantarum* BSO 445 – 35 ммоль/л [24]. Дослідження штамів зі стійкістю до хмелю *L. coryniformis*, *L. lindneri*, *L. buchneri*, *Pediococcus damnosus* вказує на наявність інгібуючого ефекту при концентраціях 10 мг/л ізо- α -кислот у поживному середовищі [7]. Таким чином, отримані нами результати узгоджуються з наявними

дослідженнями щодо стійкості МКБ до різних концентрацій ізо- α -кислот у суслі або у іншому поживному середовищі культивування МКБ.

Висновки. Встановлено здатність до росту та накопичення кислоти на охмеленому суслі зі значеннями IBU 1 культурою *Limosilactobacillus fermentum*, приріст культури склав $8,47 \pm 0,09$ КУО/мл. Виявлено здатність до підкислення сусла з IBU 1 до pH $3,53 \pm 0,04$, що свідчить про наявність стійкості культури до низьких концентрацій ізо- α -кислот. Також виявлено здатність до виживання штаму у випадку культивування на суслі з підвищеними значеннями IBU, зокрема 5 і 15. Протягом часу культивування спостерігали поступове пригнічення росту штаму *Lactiplantibacillus plantarum* до значень $5,80 \pm 0,10$, що свідчить про несприятливий вплив найменшого значення IBU 1 на життєздатність культури, що свідчить про відсутність стійкості до ізо- α -кислот.

Отримані результати свідчать про перспективність дослідження культури *Limosilactobacillus fermentum* з метою впровадження у виробництво кислих сортів пива.

Бібліографія

1. Suzuki K., Iijima K., Ozaki K., Yamashita H. Isolation of a Hop-Sensitive Variant of *Lactobacillus lindneri* and Identification of Genetic Markers for Beer Spoilage Ability of Lactic Acid Bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*. 2005. Т. 71, № 9. С. 5089–5097. <https://doi.org/10.1128/AEM.71.9.5089-5097>.
2. Vriesekoop F., Krah M., Hucker B., Menz G. 125th Anniversary Review: Bacteria in Brewing: The Good, the Bad and the Ugly. *Journal of the Institute of Brewing*. 2012. Т. 118, № 4. С. 335–345. <https://doi.org/10.1002/jib.49>.
3. Suzuki K., Iijima K., Sakamoto K., Sami M., Yamashita H. A Review of Hop Resistance in Beer Spoilage Lactic Acid Bacteria. *Journal of the Institute of Brewing*. 2006. Т. 112, № 2. С. 173–191. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2006.tb00247.x>.
4. Bucka-Kolendo J., Kiouisi D.E., Wojtczak A., Doulgeraki A.I., Galanis A., Sokołowska B. Depiction of the In Vitro and Genomic Basis of Resistance to Hop and High Hydrostatic Pressure of *Lactiplantibacillus plantarum* Isolated from Spoiled Beer. *Genes*. 2023. Т. 14, № 9. С. 1710. <https://doi.org/10.3390/genes14091710>.
5. Xu Z., Luo Y., Mao Y., Peng R., Chen J., Soteyome T. Spoilage Lactic Acid Bacteria in the Brewing Industry. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2020. Т. 30, № 7. С. 955–961. <https://doi.org/10.4014/jmb.1908.08069>.
6. Simpson W.J. Cambridge Prize Lecture. Studies on the Sensitivity of Lactic Acid Bacteria to Hop Bitter Acids. *Journal of the Institute of Brewing*. 1993. Т. 99, № 5. С. 405–411. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1993.tb01180.x>.
7. Michel M., Cocuzza S., Biendl M., Peifer F., Hans S., Methner Y. The Impact of Different Hop Compounds on the Growth of Selected Beer Spoilage Bacteria in Beer. *Journal of Institute of Brewing*. 2020. Т. 126. С. 354–361. <https://doi.org/10.1002/jib.624>.
8. Sakamoto K., Margolles A., van Veen H.W., Konings W.N. Hop Resistance in the Beer Spoilage Bacterium *Lactobacillus brevis* Is Mediated by the ATP-Binding Cassette Multidrug Transporter *HorA*. *Journal of Bacteriology*. 2001. Т. 183. С. 5371–5375. <https://doi.org/10.1128/jb.183.18.5371-5375>.
9. Bergsveinson J., Goerzen S., Redekop A., Zoerb S., Ziola B. Genetic Variability in the Hop-Tolerance *horC* Gene of Beer-Spoiling Lactic Acid Bacteria. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*. 2016. Т. 74, № 3. С. 173–182. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2016-3962-01>.
10. Dysvik A., La Rosa S.L., De Rouck G., Rukke E., Westereng B., Wicklund T. Microbial Dynamics in Traditional and Modern Sour Beer Production. *Applied and Environmental Microbiology*. 2020. Т. 86. e00566-20. <https://doi.org/10.1128/AEM.00566-20>.
11. Herkenhoff M.E. The Probiotic Paradox: Thriving in High-Hopped Sour Beer Bitter. Preprints. 2024. № 2024030205. <https://doi.org/10.20944/preprints202403.0205.v1>.
12. Bovo F., Franco L.T., Rosim R.E., Oliveira C.A.F. Ability of a *Lactobacillus rhamnosus* Strain Cultured in Milk Whey Based Medium to Bind Aflatoxin B1. *Food Science and Technology, Campinas*. 2014. Т. 34, № 3. С. 566–570. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.6373>.
13. Barth R., Farber M. *Mastering Brewing Science: Quality and Production*. Wiley & Sons, Inc., John. 2019. 592 с.

14. Technical Committee A. Soluble Extract. ASBC Methods of Analysis. 2011. <https://doi.org/10.1094/asbcmoa-brewersgrains-5>.
15. Braukaiser.com – German Brewing and More. https://braukaiser.com/documents/Kaiser_Brix_Plato_SG_table.pdf.
16. Tracking IBU through the Brewing Process: The Quest for Consistency. Technical Quarterly. 2018. <https://doi.org/10.1094/tq-55-3-1205-01>.
17. Kocabay S., Çetinkaya S. Probiotic Properties of a *Lactobacillus fermentum* Isolated from New-Born Faeces. Journal of Oleo Science. 2020. T. 69, № 12. C. 1579–1584. <https://doi.org/10.5650/jos.ess20224>.
18. Li G., Liu F., Kun-Farkas G., Kiss Z. Technological Factors Influencing Buffering Capacity of Wort. Journal of the American Society of Brewing Chemists. 2015. T. 73, № 3. C. 236–239. <https://doi.org/10.1094/ASBCJ-2015-0512-01>.
19. MacWilliam I.C. pH in Malting and Brewing – A Review. Journal of the Institute of Brewing. 1975. T. 81. C. 65–70. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1975.tb03663.x>.
20. Li H., Liu F., Kang L., Zheng M. Study on the Buffering Capacity of Wort. Journal of the Institute of Brewing. 2016. T. 122. C. 138–142. <https://doi.org/10.1002/jib.286>.
21. Ciosek A., Rusiecka I., Poreda A. Sour Beer Production: Impact of Pitching Sequence of Yeast and Lactic Acid Bacteria. Journal of the Institute of Brewing. 2019. T. 126, № 1. C. 53–58. <https://doi.org/10.1002/jib.590>.
22. Dysvik A., Liland K.H., Myhrer K.S., Westereng B., Rukke E.-O., de Rouck G., Wicklund T. Pre-Fermentation with Lactic Acid Bacteria in Sour Beer Production. Journal of the Institute of Brewing. 2019. T. 125. C. 342–356. <https://doi.org/10.1002/jib.569>.
23. Silva L.B.M. da, Arruda K.V., Suzuki J.Y., Herkenhoff M.E. Survival of the Probiotic Strain *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei* F19 in High-Hopped Beers. Food Research International. 2024. T. 196. C. 115040. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115040>.
24. Simpson W.J., Fernandez J.L. Selection of Beer-Spoilage Lactic Acid Bacteria and Induction of Their Ability to Grow in Beer. Letters in Applied Microbiology. 1992. T. 14, № 1. C. 13–16. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765X.1992.tb00636.x>.

References

1. Suzuki, K., Iijima, K., Ozaki, K., & Yamashita, H. (2005). Isolation of a hop-sensitive variant of *Lactobacillus lindneri* and identification of genetic markers for beer spoilage ability of lactic acid bacteria. *Applied and Environmental Microbiology*, 71(9), 5089–5097. <https://doi.org/10.1128/aem.71.9.5089-5097.2005>.
2. Vriesekoop, F., Krahle, M., Hucker, B., Menz, G. (2012). 125th Anniversary Review: Bacteria in brewing: The good, the bad and the ugly. *Journal of the Institute of Brewing*, 118(4), 335–345. <https://doi.org/10.1002/jib.49>.
3. Suzuki, K., Iijima, K., Sakamoto, K., Sami, M., & Yamashita, H. (2006). A review of hop resistance in beer spoilage lactic acid bacteria. *Journal of the Institute of Brewing*, 112 (2), 173–191. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.2006.tb00247.x>.
4. Bucka-Kolendo, J., Kiouisi, D. E., Wojtczak, A., Doulgeraki, A. I., Galanis, A., & Sokołowska, B. (2023). Depiction of the in vitro and genomic basis of resistance to hop and high hydrostatic pressure of *Lactiplantibacillus plantarum* isolated from spoiled beer. *Genes*, 14 (9), 1710. <https://doi.org/10.3390/genes14091710>.
5. Xu, Z., Luo, Y., Mao, Y., Peng, R., Chen, J., Soteyome, T., Bai, C., Chen, L., Liang, Y., Su, J., Wang, K., Liu, J., & Kjellerup, B. V. (2020). Spoilage lactic acid bacteria in the brewing industry. *Journal of Microbiology and Biotechnology*, 30(7), 955–961. <https://doi.org/10.4014/jmb.1908.08069>.
6. Simpson, W. J. (1993). Cambridge prize lecture. studies on the sensitivity of lactic acid bacteria to hop bitter acids. *Journal of the Institute of Brewing*, 99(5), 405–411. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1993.tb01180.x>.
7. Michel, M., Cocuzza, S., Biendl, M., Peifer, F., Hans, S., Methner, Y., Pehl, F., Back, W., Jacob, F., & Hutzler, M. (2020). The impact of different hop compounds on the growth of selected beer spoilage bacteria in beer. *Journal of the Institute of Brewing*, 126(4), 354–361.
8. Sakamoto, K., Margolles, A., van Veen, H. W., & Konings, W. N. (2001). Hop resistance in the beer spoilage bacterium *Lactobacillus brevis* is mediated by the *atp-binding cassette* multidrug transporter *hrrA*. *Journal of Bacteriology*, 183(18), 5371–5375. <https://doi.org/10.1128/jb.183.18.5371-5375.2001>.

9. Bergsveinson, J., Goerzen, S., Redekop, A., Zoerb, S., & Ziola, B. (2016). Genetic variability in the hop-tolerance *hrc* gene of beer-spoiling lactic acid bacteria. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 74(3), 173–182. <https://doi.org/10.1094/asbcj-2016-3962-01>.
10. Dysvik, A., La Rosa, S. L., De Rouck, G., Rukke, E.-O., Westereng, B., Wicklund, T. (2020). Microbial dynamics in traditional and modern sour beer production. *Applied and Environmental Microbiology*, 86 (14). <https://doi.org/10.1128/aem.00566-20>.
11. Herkenhoff, M. E. (2024). The probiotic paradox: Thriving in high-hopped sour beer bitter. Preprints. <https://doi.org/10.20944/preprints202403.0205.v1>.
12. Bovo, F., Franco, L. T., Rosim, R. E., & Oliveira, C. A. F. d. (2014). Ability of a *Lactobacillus rhamnosus* strain cultured in milk whey based medium to bind aflatoxin B1. *Food Science and Technology (Campinas)*, 34(3), 566–570. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.6373>.
13. Barth, R., & Farber, M. (2019). *Mastering brewing science: Quality and production*. Wiley & Sons, Incorporated, John.
14. Technical Committee, A. (2011). Soluble extract. V ASBC methods of analysis. American Society of Brewing Chemists. <https://doi.org/10.1094/asbcmoa-brewersgrains-5>.
15. Braukaiser.com – German brewing and more. https://braukaiser.com/documents/Kaiser_Brix_Plato_SG_table.pdf.
16. Tracking IBU through the brewing process: The quest for consistency. (2018). *Technical Quarterly*. <https://doi.org/10.1094/tq-55-3-1205-01>.
17. Kocabay, S., & Çetinkaya, S. (2020). Probiotic properties of a *Lactobacillus fermentum* isolated from new-born faeces. *Journal of Oleo Science*, 69(12), 1579–1584. <https://doi.org/10.5650/jos.ess20224>.
18. MacWilliam, I. C. (1975). Ph in malting and brewing-a review. *Journal of the Institute of Brewing*, 81(1), 65–70. <https://doi.org/10.1002/j.2050-0416.1975.tb03663.x>.
19. Li, H., Liu, F., Kang, L., Zheng, M. (2015). Study on the buffering capacity of wort. *Journal of the Institute of Brewing*, 122 (1), 138–142. <https://doi.org/10.1002/jib.286>.
20. Ciosek, A., Rusiecka, I., & Poreda, A. (2019). Sour beer production: Impact of pitching sequence of yeast and lactic acid bacteria. *Journal of the Institute of Brewing*, 126 (1), 53–58. <https://doi.org/10.1002/jib.590>.
21. Dysvik, A., Liland, K. H., Myhrer, K. S., Westereng, B., Rukke, E.-O., de Rouck, G., Wicklund, T. (2019). Pre-fermentation with lactic acid bacteria in sour beer production. *Journal of the Institute of Brewing*, 125 (3), 342–356. <https://doi.org/10.1002/jib.569>.
22. Li, G., Liu, F., Kun-Farkas, G., & Kiss, Z. (2015). Technological factors influencing buffering capacity of wort. *Journal of the American Society of Brewing Chemists*, 73 (3), 236–239. <https://doi.org/10.1094/asbcj-2015-0512-01>.
23. Borges Martins da Silva, L., Vieira Arruda, K., Yumi Suzuki, J., & Edgar Herkenhoff, M. (2024). Survival of the probiotic strain *Lactocaseibacillus paracasei* subsp. *paracasei* F19 in high-hopped beers. *Food Research International*, 196, 115040. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.115040>.
24. Simpson, W. J., & Fernandez, J. L. (1992). Selection of beer-spoilage lactic acid bacteria and induction of their ability to grow in beer. *Letters in Applied Microbiology*, 14 (1), 13–16. <https://doi.org/10.1111/j.1472-765x.1992.tb00636.x>.

УДК 663.533

ГІДРОЛІЗ КРОХМАЛЮ ТА ЗБРОДЖУВАННЯ ЦУКРІВ АСОЦІАЦІЄЮ
МІКРОБНИХ КУЛЬТУР *ASPERGILLUS AWAMORI* ТА *SACCHAROMYCES*
CEREVISIAE У ВИРОБНИЦТВІ БІОЕТАНОЛУ

Хомічак Л. М., д.т.н, професор,
член-кореспондент НААН, директор,
<https://orcid.org/0000-0001-9003-0315>

Олійнічук О. С., аспірант,
<https://orcid.org/0009-0009-8014-1703>

Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-20>

Предмет. Особливості технології ферментації крохмалю в біоетанол з використанням асоціації мікробних культур *Aspergillus awamori* та *Saccharomyces cerevisiae*. **Мета.** На основі комплексних досліджень обґрунтувати теоретичні основи підготовки крохмалевмісної сировини до збродження шляхом розроблення ресурсозберігаючої технології одностадійного гідролізу крохмалю в умовах синергічних відносин плісеневого гриба *Aspergillus awamori* та дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*. **Методи.** У дослідженні використано методи та процеси підготовки крохмалевмісної сировини, що є загальноприйнятими у вітчизняному виробництві спирту етилового. **Результати.** Експериментально обґрунтовано технологічний режим одностадійного гідролізу крохмалю та збродження цукрів асоціацією культури міцеліального гриба *Aspergillus awamori* та дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* без внесення позаклітинних ферментів амілолітичного комплексу. Визначено, що для культивування гриба в умовах спиртового виробництва раціональним середовищем слід вважати суміш помелу сировини з водою з гідромодулем 1:3, збагаченої карбамідом в кількості 0,4 г/дм³, ортофосфорною кислотою в кількості 0,13 г/дм³ та кукурудзяним екстрактом в кількості 1 г/дм³. Встановлено, що у змішаній культурі процес оцукрювання і збродження відбувається в одну стадію і практично одночасно, при цьому дріжджі та міцеліальні гриби конкурують за джерело вуглецю. **Сфера застосування результатів.** Запропоновані технологічні рішення зумовлять формування іншого концептуального підходу до розвитку виробництва біоетанолу, підвищення його ефективності за рахунок зменшення витрат на придбання ферментних препаратів.

Ключові слова: крохмалевмісна сировина, ферменти, гідроліз, дріжджі, бродіння, біоетанол

STARCH HYDROLYSIS AND FERMENTATION OF SUGARS
BY THE ASSOCIATION OF *ASPERGILLUS AWAMORI* AND *SACCHAROMYCES*
CEREVISIAE MICROBIAL CULTURES IN BIOETHANOL PRODUCTION

Liubomyr Khomichak, Dr. Sc. (Technology), Professor,
Corresponding Member of NAAS, Director
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0000-0001-9003-0315>

Oleksiy Oliynichuk, graduate student,
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine
<https://orcid.org/0009-0009-8014-1703>

Subject. Features of starch fermentation technology into bioethanol using association of *Aspergillus awamori* and *Saccharomyces cerevisiae* microbial cultures. **Purpose.** On the basis of comprehensive research, to substantiate the theoretical foundations of starch-containing raw materials preparing for fermentation by developing a resource-saving technology of starch one-stage hydrolysis in the conditions of synergistic relations between the fungus *Aspergillus awamori* and the yeast *Saccharomyces cerevisiae*. **Methods.** The methods and processes for the preparation of starch-containing raw materials, which are generally accepted in the domestic production of ethyl alcohol were used in research. **Results.** The technological mode of one-stage hydrolysis of starch and fermentation of sugars by the association of the culture of the mycelial fungus *Aspergillus awamori* and the yeast *Saccharomyces*

cerevisiae without the introduction of extracellular enzymes of the amylolytic complex was experimentally substantiated. It was determined that a mixture of raw materials` ground with water with a hydromodule of 1:3, enriched with urea in the amount of 0.4 g/dm³, orthophosphoric acid in the amount of 0.13 g/dm³, and corn extract in amount of 1 g/dm³, should be considered as a rational conditions for fungi cultivation. It was established that in a mixed culture the process of saccharification and fermentation occurs in one stage and almost simultaneously, while yeast and mycelial fungi compete for the carbon source. **Scope of results.** The proposed technological solutions will lead to the formation of a different conceptual approach to the bioethanol production development, increasing its efficiency by reducing the cost of purchasing enzyme preparations.

Key words: starch-containing raw materials, enzymes, hydrolysis, yeast, fermentation, bioethanol

Постановка проблеми. В умовах постійно зростаючих потреб суспільства з виробництва біоетанолу, підвищення ефективності використання сільськогосподарської сировини лежить в площині створення ресурсозберігаючих технологій.

Одним з шляхів раціональної організації виробництва біоетанолу з крохмалевмісної сировини є зменшення витрат ферментних препаратів на стадії гідролізу крохмалю до зброджуваних цукрів.

Застосування ферментних препаратів мікробного походження на підприємствах з виробництва біоетанолу дало можливість зменшити витрати паливних ресурсів на підготовку крохмалевмісної сировини до зброджування та зменшити витрати зброджуваних вуглеводів. Разом з тим, така технологія не дає змоги суттєво зменшити собівартість біоетанолу внаслідок того, що ферментні препарати провідних фірм, які використовуються для гідролізу крохмалю, нарівні з їх ефективністю та вигодою, складають значну частку витрат у виробничому процесі. Тому дослідники вишукують нові шляхи зменшення цих витрат, наприклад, запровадження одноступеневої ферментації крохмалю без теплової обробки з використанням амілолітичних властивостей мікроорганізмів.

Одним з напрямків вирішення даної проблеми є селекція нових штамів дріжджів з амілолітичними та бродильними властивостями і розроблення способів безпосереднього зброджування ними крохмалю без водно-теплого оброблення і оцукрювання. Зокрема, одночасне оцукрювання та зброджування крохмалю здійснюється асоціацією культур дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* та міцеліального гриба *Aspergillus awamori* без додаткового внесення препаратів амілазної дії.

Базові принципи способів зброджування крохмалю без попереднього воднотеплого оброблення та оцукрювання шляхом симбіотичного вирощування амілолітичних і бродильних мікроорганізмів розкриті у фундаментальних працях багатьох зарубіжних вчених, зокрема Abouzied M. M. та Reddy C. A. [1–3]. Автори порівнювали пряму ферментацію крохмалю в етанол сумісною культурою *Aspergillus niger* та *Saccharomyces cerevisiae*. Одночасним оцукрюванням і зброджуванням займались також Han I. Y. та Steinberg M. P. [4, 5], що досягли 92%-ої конверсії крохмалю. Спеціалістами Індії досліджено процес прямої конверсії (гідролізу) крохмалю в етанол з використанням амілоглюкозидази, внесеної з культурою *Aspergillus niger* та дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* за температури 30°C і pH 5,0 з досягненням швидкості утворення етанолу на рівні 1,74 г/дм³ за годину [6].

Досліджували ферментацію негідролізованого крохмалю в спирт спільним культивуванням *Aspergillus* and *Saccharomyces cerevisiae*. За таких умов амілолітична активність, швидкість розчинення крохмалю та вихід спирту значно зростав у порівнянні з монокультурами і становив 96% від теоретично можливого [7].

Мета. Експериментальне обґрунтування підготовки крохмалевмісної сировини до зброджування в контексті підвищення ефективності виробництва біоетанолу шляхом розроблення нової енергозберігаючої одностадійного гідролізу крохмалю до зброджуваних цукрів в умовах синергічних відносин плісеневого гриба *Aspergillus*

awamori та дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* для забезпечення необхідного і достатнього рівня синтезу амілолітичних ферментів та зброджування цукрів у виробництві біоетанолу.

Матеріали і методи досліджень. Експерименти проводили в лабораторних умовах за такою схемою: подрібнення зерна з одержанням помелу, 90–100% якого проходить через сито з діаметром отворів 1 мм; приготування суміші помел – вода у співвідношенні 1:3; оцукрення крохмалю та анаеробне зброджування цукрів асоціацією мікроорганізмів з одержанням дозрілої бражки; перегонка бражки та отримання спиртового дистиляту [8].

Кожна серія дослідів проведена не менше, ніж у триразовій повторності. У таблицях та на рисунках відображено середні значення параметрів визначених величин, визначені методами математичної статистики з використанням програми Statistica 7.0. Значення показників, що досліджувалися, використовували у вигляді середнього арифметичного значення M і похибки середнього m . Статистично вагомою вважали різницю значення $p > 0,05$ [9].

Об'єктами досліджень були культуральна рідина, виробничі дріжджі, дозріла бражка.

Як джерело оцукрювальних ферментів використовували культуральну рідину мікроскопічного гриба *Aspergillus awamori*, штам IMBF – 100017, депонованого в колекції промислових мікроорганізмів [10], як продуцент етилового спирту – термотолерантний штам дріжджів раси XII T [11].

Культивування гриба здійснювали в колбах на качалці (220 об/хв) за температури 30°C, рН 6,0–7,0 упродовж 24 годин на оцукреному суслі з кукурудзи, збагаченому азотом, фосфором та кукурудзяним екстрактом [12]. Дріжджі вирощували за режимом технологічного регламенту виробництва бражки із крохмалевмісної сировини [13].

Як сировину використовували зерно кукурудзи з наступними показниками: вміст крохмалю – 60,3%, вміст домішки – 2,0%, вміст води – 14,0%, сума моно- і дицукрів – 1,5%, вміст сухих речовин – 86,0%. Доброякісність сировини становила 70,1%.

З подрібненої кукурудзи з дисперсністю помелу не менше 90%проходу через сито з діаметром отворів 1 мм готували сусло з вмістом сухих речовин і крохмалю – 21,0 і 14,0 г/см³ відповідно.

Гідроліз крохмалю здійснювали асоціацією культур дріжджів і пліснявого гриба. Посівний матеріал гриба *Aspergillus awamori* для одночасного оцукрювання та зброджування крохмалю отримували через вегетативну культуру з наступними показниками: рН культуральної рідини – 3,8 – 4,0; кислотність – 0,5 – 0,4 град.; видимий вміст сухих речовин – 15 – 16; α -амілазна активність – 2,8 – 3,0 од./см³; глюкоамілазна активність – 6,0 – 6,2 од./см³; вміст цукрів – 5,0 – 6,0 г/100 см³. Одержані результати порівнювали з традиційним оцукрюванням комерційними ферментними препаратами з витратами α -амілази – 2 одиниці активності на 1 г крохмалю та глюкоамілази – 6 одиниць на г крохмалю, які використовуються в промислових умовах.

В дослідженнях використовували загальноприйняті методи технохімічного контролю спиртового виробництва: активність α -амілази визначали колориметричним методом за СОУ 15.9 – 37 – 241: 2005 [14], активність глюкоамілази – поляриметричним методом – за СОУ 15.9 – 37 – 241: 2005 [14], кількість виділеного діоксиду вуглецю визначали гравіметрично, загальну кислотність – титруванням, вміст незброджених вуглеводів та нерозчиненого крохмалю – фотоколориметричним методом з антроновим реактивом, вміст етилового спирту в дистиляті – ареометрично.

Результати досліджень. Технологічний процес виробництва біоетанолу з крохмалевмісної сировини базується на трьох окремих, але взаємопов'язаних стадіях: ферментативне розрідження крохмалю α -амілазою з руйнуванням 1,4 – глікозидних зв'язків, ферментативний гідроліз глюкоамілазою 1,6 – глікозидних зв'язків з утворенням зброджуваних вуглеводів та їх зброджування.

Ефективність біоконверсії крохмалю в етанол залежить від раціональних режимів на кожній технологічній стадії, але визначальною є стадія гідролізу крохмалю до зброджуваних вуглеводів з використанням позаклітинних ферментів. Цей процес гальмується як продуктами гідролізу, так і надлишком зброджуваних вуглеводів в середовищі.

Сучасні наукові надбання дають змогу змінити реалізацію класичних гідролітичних процесів крохмалю шляхом створення біотехнології трансформації полісахаридів безпосередньо мікробіологічними культурами-продуцентами ферментних систем.

На першому етапі досліджено взаємодію мікроорганізмів в асоціації, яка складається з двох штамів – продуцента ферментів амілолітичної дії *Aspergillus awamori* та дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*, в умовах одночасного гідролізу крохмалю та зброджування вуглеводів в етиловий спирт. Для цього встановлено вплив складу живильного середовища та умов культивування гриба в процесі виробництва спирту на синтез ферментів (табл. 1).

Таблиця 1

**Вплив мінерального та органічного живлення на синтез ферментів грибом
*Aspergillus awamori***

Види живлення, що додаються в сусло	Показники ферментної активності, од./см ³	
	α -амілазна	Глюкоамілазна
Без джерел азоту та фосфору (контроль)	1,5	7,7
Кукурудзяний екстракт, 4 г/дм ³	3,7	8,2
Карбамід – 0,4 г/дм ³ Кислота ортофосфорна – 0,13 г/дм ³	3,7	10,9
Карбамід – 0,4 г/дм ³ Кислота ортофосфорна – 0,13 г/дм ³ Кукурудзяний екстракт – 1 г/дм ³	3,8	12,0

Як видно з даних таблиці 1, вирощування гриба на суміші кукурудзи з водою без внесення азоту та фосфору негативно впливає на активність ферментів в культуральній рідині. Внесення в середовище кукурудзяного екстракту, як органічного джерела поживних речовин сприяло зростанню амілолітичної активності, зокрема α -амілазної – на 146,7%, а глюкоамілазної – на 6,49% вище контрольних значень. Застосування неорганічних сполук як джерела азоту та фосфору сприяють зростанню показника α -амілазної активності на таку ж величину, як і у варіанті з органічним джерелом елементів живлення, накопичення ж глюкоамілази в цьому варіанті є вищим на 41,56% відносно контролю.

Згідно з результатами дослідів, оптимальним є застосування комбінованого (органічного та неорганічного) джерела живлення. За таких умов встановлено зростання α -амілазної активності на 153,33% та глюкоамілазної активності – на 55,84% відносно контрольних значень.

Таким чином, за даними проведеного етапу досліджень визначено, що для культивування гриба *Aspergillus awamori* штаму IMBF – 100017 в умовах спиртового виробництва на неощукреному середовищі його необхідно збагачувати карбамідом в кількості 0,4 г/дм³, кислота ортофосфорною в кількості 0,13 г/дм³ та кукурудзяним екстрактом в кількості 4 г/дм³. За таких умов досягається синтез амілолітичних ферментів при культивуванні *Aspergillus awamori* штаму IMBF – 100017, що забезпечує необхідний рівень гідролізу крохмалю та виходу етилового спирту.

Методом математичного планування експерименту з використанням ортогональних багаторівневих планів оптимізовано склад середовища для культивування гриба *Aspergillus awamori* штаму IMBF – 100017. Вхідними факторами були вибрані: крохмалевмісна сировина як джерело вуглецю з діапазоном виміру $170 \leq x_1 \leq 200$ г/дм³, ортофосфорна кислота як джерело фосфору з діапазоном виміру $0,05 \leq x_2 \leq 0,3$ г/дм³,

кукурудзяний екстракт як джерело ростових речовин з діапазоном виміру $0 \leq x_3 \leq 6$ г/дм³. Кількість внесеного в середовище карбаміду залишалась на одному рівні в усіх варіантах дослідів. Діапазон вимірів для джерел живлення добирали так, щоб рівні кожного з факторів знаходились в лімітуючій зоні. За критерії оптимізації було прийнято кількість синтезованої глюкоамілази на 24-у годину культивування.

Після реалізації дослідів, відповідно до матриці планування трьохфакторного експерименту, розрахунків коефіцієнтів пошукової моделі та оцінки їх значимості за Стьюдентом отримано рівняння регресії, яке описує процес, що досліджується:

$$Y = 2,55 \cdot x_1 + 0,39 \cdot x_2 - 0,43 \cdot x_3 - 0,07 \cdot x_1^2 + 0,23 \cdot x_1 \cdot x_2 + 0,03 \cdot x_1 \cdot x_3 - 1,31 \cdot x_2^2 + 0,08 \cdot x_2 \cdot x_3 + 0,08 \cdot x_3^2 - 9,10$$

Всі змінні мають формалізовані значення, що дає змогу порівняти їх вплив у діапазоні розглядання. Максимальна активність глюкоамілази досягається за такого співвідношення компонентів середовища:

- вміст крохмалю – 175 г/дм³,
- кількість ортофосфорної кислоти – 0,13 г/дм³,
- кількість кукурудзяного екстракту - 4 г/дм³,
- кількість карбаміду – 0,4 г/дм³.

За вибраними режимами культивування дріжджів та посівного матеріалу гриба провели дослідження одночасного оцукрювання і зброджування крохмалевмісної сировини у порівнянні з технологічним режимом з використанням комерційних ферментних препаратів.

Технологічні показники спиртових бражок наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

Технологічні показники спиртових бражок, одержаних за одночасного використання двох культур мікроорганізмів

Показник	Значення	
	Комерційні ферментні препарати (контроль)	Асоціація культур
рН середовища, од.	4,9	4,8
Кислотність, град.	0,37	0,39
Видимий вміст сухих речовин, %	-0,2	-0,6
Дійсний вміст сухих речовин, %	2,6	2,8
Вміст спирту, %об.	9,70	9,60
Кількість загальних незброджених цукрів, г/100 см ³	0,31	0,42
Кількість водорозчинних незброджених цукрів, г/100 см ³	0,25	0,40
Кількість нерозчиненого крохмалю, г/100 см ³	0,06	0,02
Вміст гліцерину, г/100 см ³	0,84	0,66
Вихід спирту, дал/ т крохмалю	66,6	66,8

При одночасному оцукрюванні та зброджуванні крохмалю асоціацією культур спостерігалось підвищення кількості незброджених цукрів у порівнянні з контролем. Так, вміст загальних цукрів у контрольному варіанті становив 0,31 г/100 см³, тоді як за зброджування асоціацією мікроорганізмів – 0,42 г/100 см³. Кількість нерозчиненого крохмалю ж за зброджування асоціацією є нижчою і складає 0,02 г/100 см³ проти 0,06 г/100 см³ в контрольному варіанті.

Втрати з незбродженими цукрами, у відсотках до введеного крохмалю, становлять 2,64% за використання комерційних ферментних препаратів та 2,76% в умовах змішаної культури, що є задовільним технологічним показником. Крім того, відзначено зниження вмісту гліцерину на 21,5% в зрілій бражці за застосування змішаної культури проти контрольного варіанту.

За таких умов вихід спирту не зменшується у порівнянні з аналогічним процесом, загальноприйнятим у вітчизняній спиртовій промисловості на даний момент. Можливо, це пов'язано з проявом синергізму фізіологічних функцій як дріжджів, так і гриба, за їх спільної життєдіяльності, які відсутні у цих мікроорганізмів за культивування в монокультурі. Зокрема, життєдіяльність *Aspergillus awamori* в умовах спиртового бродіння гальмується продуктами обміну дріжджів і сприяє утворенню грибного автолізу, який позитивно впливає на біохімічну активність та метаболічну спрямованість дріжджової культури.

Висновки. Однією з можливостей розвитку технології спирту з крохмалевмісної сировини є зменшення вартості ферментних препаратів, які застосовуються за підготовки сировини до зброджування.

Експериментально обґрунтовано спосіб оцукрювання крохмалевмісної сировини за підготовки її до зброджування шляхом культивування гриба *Aspergillus awamori* та суміщення синтезу ферментів зі зброджуванням з використанням *Saccharomyces cerevisiae* в одній стадії.

Визначено, що для культивування гриба в умовах спиртового виробництва раціональним середовищем для отримання гідролітичних ферментів слід вважати суміш помелу сировини з водою з гідромодулем 1:3, збагаченої карбамідом в кількості 0,4 г/дм³, ортофосфорною кислотою в кількості 0,13 г/дм³ та кукурудзяним екстрактом в кількості 1 г/дм³.

Встановлено, що у змішаній культурі процес оцукрювання і зброджування відбувається в одну стадію і практично одночасно, при цьому дріжджі та міцеліальні гриби конкурують за джерело вуглецю.

Бібліографія

1. Abouzied M. M., Reddy C. A. Direct fermentation of potato starch to ethanol by cocultures of *Aspergillus niger* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied and Environmental Microbiology*. 1986. Vol. 52. P. 1055–1059.
2. Cripwell R. A., Rose S.H., Favaro L., Zyl W.H. Construction of industrial *Saccharomyces cerevisiae* strains for the efficient consolidated bioprocessing of raw starch. *Biotechnology for Biofuels*. 2019. 12: 201 <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1541-5>.
3. Schaunitz R., Victor M. Consolidated bioprocessing of starchy substrates into ethanol by industrial *Saccharomyces cerevisiae* strains secreting fungal amylases. *Biotechnology and bioengineering*. 2015, 112 (9). <https://doi.org/10.1002/bit.25591>.
4. Sharma S., Pandey M., Saharan B. S. Fermentation of starch to ethanol by an amylolytic yeast *Saccharomyces diastaticus* SM-10. *Indian Journal of Experimental Biology*, 2002, 40(3):325-8.
5. Cripwell R. Consolidated bioprocessing of raw starch with *Saccharomyces cerevisiae* strains expressing fungal alpha-amylase and glucoamylase combinations. *FEMS Yeast Research*. 2018. 30(2), P. 225–232. <https://doi.org/10.1002/bit.260300212>.
6. Gronchi N., Favaro L., Cagnin L., Brojanigo S., Pizzocchero V., Basaglia M., Casella S. Novel Yeast Strains for the Efficient Saccharification and Fermentation of Starchy By-Products to Bioethanol. *Energies* 2019, 12(4), 714; <https://doi.org/10.3390/en12040714>.
7. Viktor M. J., Rose S. H., van Zyl W. H., Viljoen-Bloom M. Raw starch conversion by *Saccharomyces cerevisiae* expressing *Aspergillus tubingensis* amylases. *Biotechnology for Biofuels*, 2013, 6(1):167. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-6-167>.
8. Маринченко В. О., Домарецький В. А., Шиян П. Л., Швець В. М., Циганков П. С., Жолднер І. Д. Технологія спирту: навч. посіб. / за ред. проф. В. О. Маринченка. Вінниця: Поділля – 2000, 2003. 496 с.
9. Аністратенко В. О., Федоров В. Г. Математичне планування експериментів в АПК: навч. посібник / за ред. В. О. Аністратенко. Київ : Вища шк., 1993. 375 с.
10. Штам пліснявих грибів *Aspergillus awamori* IMBF 100017 – продуцент амілолітичних ферментів: пат. 47822А Україна. № 200196648; заявл. 28.09.2001; опубл. 15.07.2002, Бюл. № 7. 4 с.

11. Штам дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* хіі-т для мікробіологічного синтезу спирту з крохмалевмісної сировини МПК C12N 1/16, C12N 1/18, C12P 7/06, C12R 1/865: пат. 36477A Україна. №99127030; заявл. 23.12.1999; опубл. 16.04.2001, Бюл. № 3. 2с.

12. Промисловий регламент виробництва амілоглюкоаваморину Fx – 466. Київ:1972. С. 3.

13. Технологічний регламент виробництва етилового спирту з крохмалевмісної сировини: ТРУ 18.8049. 2000: затв. Держагропромом України 25.10.2000: Введено в дію з 01.12.2000. Київ: 2000. 143 с.

14. СОУ 15.9 – 37 – 241: 2005. Препарати ферментні для спиртового виробництва. Методи визначання амілолітичної активності. Вид. офіц. Київ: Міністерство аграрної політики України, 2006. 26 с.

References

1. Abouzied M. M., Reddy C. A. (1986). Direct fermentation of potato starch to ethanol by cocultures of *Aspergillus niger* and *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 52. P. 1055–1059.

2. Cripwell R. A., Rose S. H., Favaro L., Zyl W. H. (2019). Construction of industrial *Saccharomyces cerevisiae* strains for the efficient consolidated bioprocessing of raw starch. *Biotechnology for Biofuels*, 12: 201. <https://doi.org/10.1186/s13068-019-1541-5>.

3. Schaunitz R., Victor M. (2015). Consolidated bioprocessing of starchy substrates into ethanol by industrial *Saccharomyces cerevisiae* strains secreting fungal amylases. *Biotechnology and bioengineering*, 112 (9). <https://doi.org/10.1002/bit.25591>.

4. Sharma S., Pandey M., Saharan B. S. (2002). Fermentation of starch to ethanol by an amylolytic yeast *Saccharomyces diastaticus* SM-10. *Indian Journal of Experimental Biology*, 40(3):325-8.

5. Cripwell R. (2018). Consolidated bioprocessing of raw starch with *Saccharomyces cerevisiae* strains expressing fungal alpha-amylase and glucoamylase combinations. *FEMS Yeast Research*, 30 (2), P. 225–232. <https://doi.org/10.1002/bit.260300212>.

6. Gronchi N., Favaro L., Cagnin L., Brojanigo S., Pizzocchero V., Basaglia M., Casella S. (2019). Novel Yeast Strains for the Efficient Saccharification and Fermentation of Starchy By-Products to Bioethanol. *Energies*, 12(4):714. <https://doi.org/10.3390/en12040714>.

7. Viktor M. J., Rose S. H., van Zyl W. H., Viljoen-Bloom M. (2013). Raw starch conversion by *Saccharomyces cerevisiae* expressing *Aspergillus tubingensis* amylases. *Biotechnology for Biofuels*, 6(1):167. <https://doi.org/10.1186/1754-6834-6-167>.

8. Marynchenko V. O., Domaretskyi V. A., Shyian P. L., Shvets V.M., Tsyhankov P. S., Zholdner I. D. (2003). *Tekhnolohiia spyrtu [Alcohol technology]: navch. posib. / by ed. prof. V. O. Marynchenko. Vinnytsia: Podillia – 2000 [Podillia – 2000]. 496 p. [in Ukrainian]*.

9. Anistratenko V. O., Fedorov V. H. (1993)/ *Matematychnye planuvannia eksperymentiv v APK [Mathematical planning of experiments in agriculture]: navch. posibnyk / by ed. V. O. Anistratenko. Kyiv: Vyshcha shk. [Higher school] 375 p. [in Ukrainian]*.

10. Shtam plisniavykh hrybiv *Aspergillus awamori* IMBF 100017 – produtsent amilolitychnykh fermentiv [*Aspergillus awamori* strain IMBF 100017 – producer of amylolytic enzymes]: пат. 47822A Ukraina. № 200196648; zaiavl. 28.09.2001; opubl. 15.07.2002, Biul. № 7. 4 p. [in Ukrainian].

11. Shtam drizhdzhiv *Saccharomyces cerevisiae* хіі-т для мікробіологічного синтезу спирту з крохмалевмісної сировини МПК C12N 1/16, C12N 1/18, C12P 7/06, C12R 1/865 [Yeast strain *Saccharomyces cerevisiae* hii-t for microbiological synthesis of alcohol from starch-containing raw materials IPC C12N 1/16, C12N 1/18, C12P 7/06, C12R 1/865]: пат. 36477A Ukraina. №99127030; zaiavl. 23.12.1999; opubl. 16.04.2001, Biul. № 3. 2 p. [in Ukrainian].

12. Promyslovyyi rehlement vyrobnytstva amilohliukoavamorynu Fx–466 (1972). [Industrial regulations for the production of amyloglucoavamorynu Fx–466]. Kyiv. P. 3. [in Ukrainian].

13. Tekhnolohichni rehlement vyrobnytstva etylovoho spyrtu z krokhmalevmisnoi syrovyny (2000). [Technological regulations for the production of ethyl alcohol from starch-containing raw materials]: ТРУ 18.8049. 2000: Затв. Derzhahropromom Ukrainy 25.10.2000: Vvedeno v diiu z 01.12.2000. Kyiv. 143 p. [in Ukrainian].

14. SOU 15.9 – 37 – 241: 2005 (2006). Preparaty fermentni dlia spyrtovoho vyrobnytstva. Metody vyznachannia amilolitychnoi aktyvnosti [Enzyme preparations for alcohol production. Methods of determining amylolytic activity]. Vyd. ofits. Ministerstvo ahrarnoi polityky Ukrainy [Ministry of Agrarian Policy of Ukraine]. Kyiv. 26 p. [in Ukrainian].

ІНВЕРТНИЙ СИРОП ДЛЯ ПІДГОДІВЛІ БДЖІЛ

Хомічак Л. М.^{1,2}, д.т.н, професор, член-кореспондент НААН, директор
<https://orcid.org/0000-0001-9003-0315>

Джоган О. І.¹, к.т.н., с.н.с.
 відділу технології цукру, цукровмісних продуктів та інгредієнтів
<https://orcid.org/0000-0002-3827-677X>

Кузнєцова І. В.¹, д.с.-г.н., к.т.н., с.н.с., завідувача
 відділом технології цукру, цукровмісних продуктів та інгредієнтів
<https://orcid.org/0000-0001-8530-2099>

Зайчук Л. П.¹, головна фахівчиня
 відділу технології цукру, цукровмісних продуктів та інгредієнтів
<https://orcid.org/0000-0001-9526-0275>

Ткаченко С. В.^{1,2}, к.т.н., старший дослідник, с.н.с.
 відділу технології цукру, цукровмісних продуктів та інгредієнтів,
 старший викладач кафедри харчових виробництв
<https://orcid.org/0000-0003-2897-8978>

Грінченко І. Г.¹, д.т.н., с.н.с., заступниця завідувачі
 відділом технології цукру, цукровмісних продуктів та інгредієнтів
<https://orcid.org/0000-0002-7832-7578>

¹Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна
²Інститут післядипломної освіти Національного університету харчових технологій, Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-21>

Предмет. Оптимальні умови отримання інвертного сиропу з вмістом редукувальних речовин більше 95% СР із цукрового сиропу шляхом розкладання сахарози за допомогою ферментного препарату β -фруктофуранозидази. **Мета.** Розроблення технології виробництва інвертного сиропу для підгодовлі бджіл з вмістом сухих речовин 70–71% і масовою часткою інвертного цукру не менше 95% СР. **Методи.** В роботі використано електрометричний, рефрактометричний, фотоелектрометричний, титрометричний, кондуктометричний, мідно-цитратний методи аналізу. **Результати.** Проведено аналіз відомих способів отримання інвертних сиропів, в результаті якого для розроблення технології виробництва сиропу для підгодовлі бджіл обрано спосіб ферментного гідролізу. Перевірено вплив температури і рН сиропу на каталітичну дію ферментного препарату. Встановлено оптимальні умови проведення процесу гідролізу. Визначено витрати ферменту, необхідні для отримання сиропу із заданим вмістом редукувальних речовин. Виготовлено лабораторні зразки інвертного сиропу. Перевірено основні фізико – хімічні показники отриманого продукту, які засвідчили його високу якість. Зокрема, визначено, що масова частка гідроксиметилфурфуролу та кислотність сиропу не перевищують нормативні значення цих показників для меду натурального. Розроблено технологічну інструкцію, технологічну та апаратурну схеми виробництва інвертного сиропу. Технологію виробництва сиропу для підгодовлі бджіл впроваджено на ТОВ «Новооржицький цукровий завод». **Сфера застосування результатів.** Розроблена технологія може бути впроваджена на цукрових заводах та інших підприємствах харчової галузі. Вироблений інвертний сироп може використовуватися в бджільництві, а також в харчовій промисловості.

Ключові слова: цукор, цукрове виробництво, інвертний сироп, процес, якість, фермент, гідроліз

INVERT SYRUP FOR FEEDING BEES

Liubomyr Khomichak^{1,2}, D-r of Sc., Engineerina.
 Professor, Corresponding Member of NAAS, Director
<https://orcid.org/0000-0001-9003-0315>

Olha Dzhohan¹, PhD, Engineerina, Senior Research Fellow of Department
 of Sugar Technology, Sugar-Containing Products and Ingredients
<https://orcid.org/0000-0002-3827-677X>

Inha Kuznietsova¹, D-r of Sc., Senior Researcher, Head of Department
 of Sugar Technology, Sugar-Containing Products and Ingredients
<https://orcid.org/0000-0001-8530-2099>

Liudmyla Zavchuk¹, Chief Specialist of Department of Sugar Technology, Sugar-Containing Products and Ingredients
<https://orcid.org/0000-0001-9526-0275>

Serhii Tkachenko^{1,2}, PhD, Engineering, Senior Researcher, Senior Research Fellow of Department of Sugar Technology, Sugar-Containing Products and Ingredients, Senior Lecturer of the Department of Food Production
<https://orcid.org/0000-0003-2897-8978>

Iryna Grinenko¹, D-r of Sc., Engineering, Deputy Head of Department of Sugar Technology, Sugar-Containing Products and Ingredients
<https://orcid.org/0000-0002-7832-7578>

¹Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

²Institute of Postgraduate Education of the National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Subject. Optimum conditions for obtaining inverted syrup with a content of reducing substances of more than 95% DM from sugar syrup by decomposition of sucrose with the help of the enzyme preparation β -fructofuranosidase. **Purpose.** Development of a technology for the production of inverted syrup for feeding bees with a dry matter content of 70–71% and a mass fraction of inverted sugar over 95% of DM. **Methods.** Electrometric, refractometric, photoelectrometric, titrimetric, conductometric, copper-citrate methods of analysis were used in the work. **Results.** An analysis of the known methods of obtaining invert syrups was carried out, as a result of which the enzyme hydrolysis method was chosen for the development of the syrup production technology for feeding bees. The influence of the temperature and pH of the syrup on the catalytic action of the enzyme preparation was tested. Optimal conditions for the hydrolysis process have been established. The amount of enzyme needed to obtain syrup with a given content of dry matter was determined. Laboratory samples of invert syrup were produced. The main physico-chemical parameters of the obtained product were checked, which confirmed its high quality and safety. Technological instruction, technological and equipment schemes for the production of invert syrup have been developed. The technology for the production of syrup for feeding bees has been implemented at Novoorzhitskyi Sugar Refinery LLC. **Scope of results.** The developed technology can be implemented in sugar factories and other enterprises of the food industry. The produced invert syrup can be used in beekeeping, as well as in the food industry.

Key words: sugar, sugar production, inverted syrup, process, quality, enzyme, hydrolysis

Постановка проблеми. Сезон цукроваріння 2023 року був успішним для вітчизняних цукровиробників. В Україні було вироблено 1,8 млн. тон цукру, що майже вдвічі більше ніж необхідний для внутрішнього споживання обсяг в 1 млн. тон [1]. Цьому посприяло збільшення посівних площ та висока цукристість вирощених коренеплодів цукрових буряків. Обсяг виробленої продукції дозволив цукровим заводам активно експортувати і реалізовувати цукор на ринках країн Європейського союзу. Однак Європейською Комісією було введено механізм захисту від значного українського імпорту шляхом запровадження квоти, яка дозволяла Україні ввезти до країн ЄС в 2024 році не більше 262 тис. тонн цукру [2]. З огляду на це, цукрові заводи вимушені шукати додаткові ринки збуту задля збереження досягнутого рівня виробленої продукції, а відповідно і переробленої сировини, та уникнення негативного впливу на внутрішній ринок від перевиробництва цукру. Крім збільшення географії експорту цукру піску, одним із напрямів, який дозволить зберегти обсяг перероблення цукрових буряків на існуючому рівні може бути розширення асортименту продукції, яку виробляють цукрові заводи. Такими продуктами можуть бути інвертні сиропи.

Інвертні сиропи – це водні розчини суміші еквімолярних частин глюкози і фруктози, отримані внаслідок гідролізу сахарози цукрових сиропів. Вони характеризуються нейтральним солодким смаком і не призводять до утворення піни чи пластівців під час застосування у виробництві харчових продуктів. Інвертні сиропи є мікробіологічно більш стабільними, ніж розчини сахарози, завдяки низькому значенню показника активності води та підвищеному осмотичному тиску [3]. Вони прозорі, не мають запаху, є безпечними та готовими до використання у виробництві напоїв, кондитерських виробів, тютюнових виробів, виробництві кормів для тварин та ін.

У кондитерській галузі інвертні сиропи знайшли широке застосування у виготовленні мусів, кремів, цукерок, зефіру, карамелі, випічки, тощо. Використання в рецептурі інвертного сиропу або часткова заміна ним цукру перешкоджає утворенню кристалів сахарози в кондитерських виробках, зберігає вологість продуктів, завдяки своїй гігроскопічності, а також надає колір і аромат випічці.

Ще одним із напрямів використання інвертного сиропу є бджільництво. Україна – один з найбільших виробників та експортерів меду в світі. У 2023 році Україна експортувала 55 тис. т меду [4] і продовжила нарощувати обсяги експорту у 2024 році. Бджоларі використовують сироп для поповнення запасів кормового меду за його нестачі у вуликах навесні, стимуляції вирощування розплоду, забезпечення кормових запасів, які необхідні бджолам на зиму з метою покращення умов їх зимівлі. Розповсюджена в бджільництві практика годування бджіл цукровим сиропом виснажує їх, тому що спочатку сахароза повинна розкластися на глюкозу і фруктозу під дією ферменту, який виділяє комаха. Фруктоза, забезпечує протікання процесів метаболізму в тканинах організму бджіл, а глюкоза є невід'ємним енергетичним субстратом в процесі гліколізу в м'язовій тканині та для синтезу глікогену [5]. Інвертний сироп, який переважно містить глюкозу і фруктозу, легше засвоюється бджолами порівняно із цукровим сиропом. Достатній запас корму, який ідеально відповідає особливим потребам бджоли, забезпечує життєдіяльність бджолиної сім'ї, сприяє її зростанню і створює сприятливі умови для успішного бджільництва. Отже, виробництво цукровими заводами інвертного сиропу дозволить розширити асортимент їх готової продукції та забезпечить бджоларів кормами для підгодовлі бджіл стандартизованої якості.

Матеріали та методи. Готували цукровий сироп розчиненням цукру білого кристалічного бурякового у воді з температурою 75–80°C до вмісту сухих речовин сиропу 67–68%. За допомогою 10%-го розчину лимонної кислоти доводили рН цукрового сиропу до необхідного значення. В порції цукрового сиропу вносили ферментний препарат і ретельно перемішували. В роботі було використано фермент β -фруктофуранозидазу (інвертазу) – продукт контрольованого бродіння дріжджів *Saccharomyces cerevisiae*. Активність ферменту, заявлена виробником, більше 150000 SU/мл. Суміш цукрового сиропу з ферментним препаратом витримували в термостаті впродовж визначеного часу, потім швидко нагрівали до 93–95°C для інактивації ферменту, охолоджували до температури 20°C і аналізували фізико-хімічні показники.

Для аналізу цукрових і інвертних сиропів використовували електрометричний, рефрактометричний, фотоелектрометричний, титрометричний, кондуктометричний методи фізико-хімічного контролю [6, 7], редукувальні речовини визначали мідно-цитратним методом [8].

Результати та обговорення. Відомі способи отримання інвертного сиропу, а саме кислотний (гідроліз сахарози цукрового сиропу внаслідок дії кислот [9, 10]) та ферментний (за допомогою ферментного каталізу [11]). Виробництво інвертного сиропу способом гідролізу сахарози кислотою передбачає витримування цукрового сиропу за високих температур в сильноокислому середовищі з наступною нейтралізацією содою до необхідного рН. Під час нагрівання цукрових розчинів в сильноокислому середовищі може утворюватися гідроксиметилфурфурол – продукт розкладання цукрів. Інвертний сироп з високим вмістом гідроксиметилфурфуролу токсичний для бджіл, а додавання значної кількості кислот для гідролізу сахарози під час виробництва сиропу може збільшувати їх смертність [12]. Тому для уникнення небажаного впливу на здоров'я бджіл від вживання ними інвертного сиропу більш перспективним є ферментний спосіб виробництва, який дозволяє отримувати сироп близький за своїми фізико-хімічними показниками до меду.

Фермент інвертаза гідролізує β -D-1,2-глікозидні зв'язки в сахарозі, вивільняючи еквімолярну суміш D-глюкози і D-фруктози (рис.1).

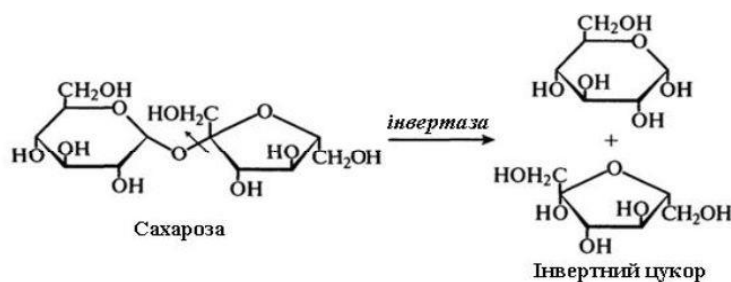


Рис. 1. Реакція розкладу сахарози під дією інвертази

Активність ферментного препарату впливає на швидкість гідролізу сахарози і залежить від pH, температури, кон-центрації субстрату та ферменту тощо [13]. З метою визначення оптимальних умов для каталітичної активності інвертази було перевірено вплив параметрів

ведення процесу гідролізу, а саме pH та температури сиропу, на швидкість ферментного розкладання сахарози, яку оцінювали по кількості утворених редукувальних речовин. Визначення оптимального pH цукрового сиропу для дії інвертази проводили в діапазоні 3–6 одиниць pH з кроком 0,5, при цьому інші параметри процесу, а саме: температура, масова частка СР сиропу, кількість доданого ферменту та тривалість гідролізу були однаковими для всіх точок pH (рис. 2).

У ферментному каталізі, як і у хімічному, температура суттєво впливає на перебіг реакції. За підвищення температури зростає швидкість руху молекул субстрату і, таким чином, імовірність каталітичного перетворення [13]. Однак, як відомо, позитивний вплив підвищення температури на швидкість гідролізу має певну межу і після досягнення оптимуму швидкість реакції буде зменшуватися. Тому з метою визначення оптимальних температурних умов для дії обраного ферментного препарату було проведено гідроліз сахарози цукрового сиропу за температур в діапазоні 50–75°C з кроком в 5°C, при цьому всі інші параметри, а саме: кількість доданого ферменту, тривалість процесу, вміст сухих речовин і pH вихідного цукрового сиропу були однаковими (рис.3). Аналіз отриманих даних показав, що використовувана інвертаза найбільшу каталітичну дію на гідроліз сахарози має за температури 65°C і pH біля 4,5 одиниць.

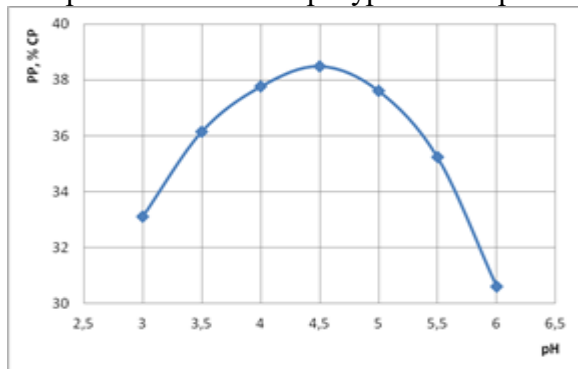


Рис. 2. Вплив pH цукрового сиропу на гідролізуючу здатність інвертази

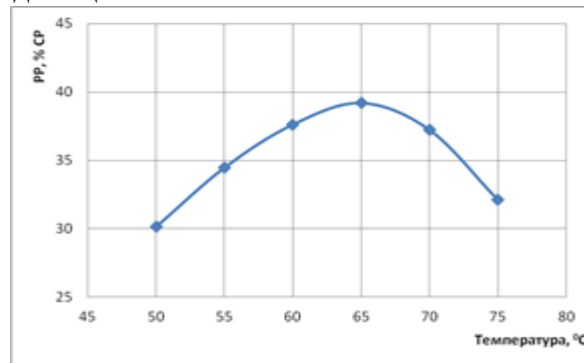


Рис. 3. Вплив температури на гідролізуючу здатність інвертази

Ступінь інверсії сахарози залежить також від витрат і тривалості дії ферментного препарату. Виходячи з того, що цукрові заводи можуть мати необхідність виробляти інвертний сироп в міжсезонний період, коли відсутня цілодобова робота підприємства, було прийнято обмеження по тривалості стадії гідролізу в 4 години, що дозволяє провести всі етапи виробництва від підготовчих операцій до фасування інвертного сиропу за одну зміну. Тому наступним етапом роботи стало визначення оптимальних витрат ферментного препарату, необхідних для отримання інвертного сиропу з вмістом редукувальних речовин не менше 95% СР за температури 65°C, pH = 4,5 і тривалості гідролізу 4 години.

Для цього цукровий сироп з вмістом сухих речовин 67–68% і pH 4,5 одиниць, розділяли на порції рівного об'єму, до кожної з них додавали інвертазу в кількості від 0,3 до 1,5 см³/дм³ сиропу і витримували протягом 4 годин за температури 65 °C. Після інактивації ферменту і охолодження сироп аналізували. Усереднені результати паралельних випробувань виготовлених сиропів представлено в таблиці 1. В якості

характеристики ступеню гідролізу сахарози використано кількість утворених редукувальних речовин.

Таблиця 1
Вплив витрат ферментного препарату інвертази на ступінь гідролізу сахарози цукрового сиропу

Назва показника	Витрата ферменту, см ³ / дм ³ сиропу			
	0,3	0,6	1,1	1,5
Масова частка редукувальних речовин,% СР	68,6	84,1	95,8	99,4

показників (табл. 2). Отримані результати підтвердили, що масова частка гідроксиметилфурфуролу, золи та кислотність інвертного сиропу не перевищують нормативних показників ДСТУ 4497:2005 «Мед натуральний. Технічні умови». Сироп має низьку кольоровість та високий вміст інвертного цукру. Отже, виготовлений продукт може використовуватися для підгодівлі бджіл.



Рис. 3. Інвертний сироп

Представлені дані свідчать, що оптимальною витратою ферментного препарату для виготовлення інвертного сиропу з вмістом редукувальних речовин більше 95% до СР і тривалістю гідролізу 4 години є 1,1 см³ на 1 дм³ цукрового сиропу з масовою часткою сухих речовин 67–68%. З метою визначення якості інвертного сиропу (рис. 3), виготовленого за встановлених оптимальних умов, було проведено аналіз його фізико – хімічних

Таблиця 2
Фізико-хімічні показники інвертного сиропу, отриманого способом ферментного гідролізу

Назва показника, од. вимірювання	Значення
рН	4,3
вміст сухих речовин,%	70,0
кольоровість, од. ICUMSA	56,0
вміст гідроксиметилфурфуролу, мг/кг	8,4
вміст золи,% до маси СР	0,02
густина, г/см ³	1,35
вміст РР (суміш глюкози і фруктози),%	67,1
% до маси СР	95,8
вміст сахарози,%	2,9
% до маси СР	4,1
Кислотність, міліеквівалент гідроокису натрію на 1 кг сиропу	2

На основі проведених експериментальних досліджень було розроблено технологічну інструкцію, технологічну (рис. 4) та апаратурну схеми виробництва інвертного сиропу для підгодівлі бджіл потужністю 20 тонн/добу. Технологію виробництва інвертного сиропу впроваджено на ТОВ «Новооржицький цукровий завод» (рис. 5).



Рис. 4. Технологічна схема виробництва інвертного сиропу для підгодівлі бджіл



Рис. 5. Станція гідролізу цукру технологічної схеми виробництва інвертного сиропу, впровадженій на ТОВ «Новооржицький цукровий завод»

Висновки. В результаті проведених досліджень визначено оптимальні умови для дії ферментного препарату β -фруктофуранозидази та його витрати, необхідні на отримання інвертного сиропу з вмістом редукувальних речовин більше 95% СР за встановлених умов процесу гідролізу. Виготовлений інвертний сироп має високу якість. Показники вмісту гідроксиметил-фурфуролу та кислотність сиропу, які потенційно можуть становити небезпеку для бджіл, не перевищують нормативних значень для меду. Тому отримання інвертного сиропу у виробничих умовах цукрових заводів із належним лабораторним контролем фізико-хімічних показників готового продукту дасть змогу бджолярам підгодовувати бджіл сиропом високої контрольованої якості, який безпечний для здоров'я комах на відміну від сиропів, приготовлених на

пасіках, де не завжди є можливість проконтролювати його якість.

Розроблено технологію, технологічну та апаратну схеми виробництва інвертного сиропу, які впроваджено на ТОВ «Новооржицький цукровий завод». Виробництво інвертного сиропу збільшить асортимент готової продукції підприємства, забезпечить зайнятість частині персоналу в міжсезонний період та диверсифікує ринки збуту для цукрових заводів.

Бібліографія

1. Виробленого цукру достатньо для внутрішніх потреб українців та забезпечення необхідних обсягів експорту. Міністерство аграрної політики та продовольства України. 01.02.2024. <https://minagro.gov.ua/news/vyroblenoho-tsukru-dostatno-dlia-vnutrishnikh-potreb-ukraintsiv-ta-zabezpechennia-neobkhidnykh-obsiahiv-eksportu-taras-vysotskyi> Дата звернення 10.10.2024.
2. Уряд зупинив експорт цукру до ЄС. НАЦУ «Укрцукор». 30.05.2024. <http://ukrsugar.com/uk/post/urad-zupiniv-eksport-cukru-do-es> . Дата звернення 17.10.2024.
3. Degenhardt A. G., Jansen E., König S., Oswald D. Manufacturing, properties and selected applications of invert sugar syrups. Zuckerindustrie. 2023. № 148 (5). P. 315–326. <https://doi.org/10.36961/si29818>.
4. Статистичні дані Державної митної служби України <https://customs.gov.ua/statistika-ta-reiestri> Дата звернення 10.06.2024.
5. Бугера С. І., Литвиненко О. М., Міщенко О. А. Підгодівля бджіл та її вплив на продукування воску. Науково-виробничий журнал "Бджільництво України", 2018., Том. 1, № 3, с. 22–28.
6. ДСТУ 4497:2005. Мед натуральний. Технічні умови. ДП «УкрНДНЦ». Київ, 2005. 25 с.
7. ДСТУ 7126:2009. Сиропи. Загальні технічні умови. ДП «УкрНДНЦ». Київ, 2009. 18 с.
8. ДСТУ 5059:2008. Вироби кондитерські. Методи визначення цукрів. ДП «УкрНДНЦ». Київ, 2008. 31 с.
9. Патент на корисну модель № 106921 Україна, МПК (2016.01) C13K 1/00 C13K 3/00 Спосіб отримання сиропу інвертного. Н. О. Григоренко, Т. В. Шейко, Н. О. Соколенко, І. Г. Грінченко, Л. М. Хомічак, В. Б. Смоленський; заявник і патентовласник Інститут продовольчих ресурсів НААН. № u201511474; заявл. 23.11.2015; опубл. 10.05.2016, 4 с.

10. Українець А. І., Штангеева Н. І., Клименко Л. С. Технології цукропродуктів і цукрозаїміників. Київ: НУХТ, 2009. 231 с.
11. Patent. №W2005/031006A2 Mexico, IPC C13F. Production of invert syrup from sugarcane juice using immobilized invertase. Serna-Saldivar Sergio R., Rito-Palomares Marco A. №PCT/IB2004/003163; Application 29.09.2004 ; Publication 07.04.2005. 32 p.
12. Gabriela Quinlan, Mehmet Ali Doke, Yarira Ortiz-Alvarado, Norma Rodriguez-Gomez, Yilmaz Berk Koru, Robyn Underwood. Carbohydrate nutrition associated with health of overwintering honey bees. Journal of Insect Science. 2023. Volume 23, Issue 6. P. 16, <https://doi.org/10.1093/jisesa/iead084>.
13. Анацький А. С. Методичні вказівки до самостійної роботи з дисципліни «Біохімія»: Навчальне видання. Кам'янське: Дніпровський державний технічний університет, 2020. 38 с.

References

1. Vyroblenoho tsukru dostatno dlia vnutrishnikh potreb ukrainsiv ta zabezpechennia neobkhidnykh obsiahiv eksportu. [The sugar produced is sufficient for the domestic needs of Ukrainians and to ensure the necessary export volumes]. Ministerstvo ahrarynoi polityky ta prodovolstva Ukrainy [Ministry of agrarian policy and food of Ukraine] 01.02.2024. <https://minagro.gov.ua/news/vyroblenoho-tsukru-dostatno-dlia-vnutrishnikh-potreb-ukrainsiv-ta-zabezpechennia-neobkhidnykh-obsiahiv-eksportu-taras-vysotskyi> 10.10.2024. [in Ukrainian].
2. Uriad zupynyv eksport tsukru do ES. [The government stopped the export of sugar to the EU]. NATsU «Ukrtsukor». [NASPU «Ukrsugar»]. 30.05.2024. <http://ukrsugar.com/uk/post/urad-zupiniv-eksport-cukru-do-es>. 17.10.2024. [in Ukrainian].
3. Degenhardt, A. G., Jansen, E., König, S., Oswald, D. (2023). Manufacturing, properties and selected applications of invert sugar syrups. Zuckerindustrie. № 148 (5). P. 315–326 <https://doi.org/10.36961/si29818>.
4. Statystychni dani Derzhavnoi mytnoi sluzhby Ukrainy. [Statistical data of the State Customs Service of Ukraine] <https://customs.gov.ua/statistika-ta-reiestri> (10.06.2024) [in Ukrainian].
5. Bugera S., Lytvynenko O., Mishchenko O. (2018). Statystychni dani Derzhavnoi mytnoi sluzhby Ukrainy. [Bee feeding and its effect on wax production]. Naukovo-vyrobnychiy zhurnal "Bdzhilnytstvo Ukrainy". [Scientific and production magazine "Beekeeping of Ukraine"]. Vol. 1, No. 3, p. 22–28. [in Ukrainian].
6. DSTU 4497:2005. Med naturalnyi. Tekhnichni umovy. [Honey is natural. Specifications]. DP «UkrNDNTs». [SE «UkrNDNC»]. Kyiv, 2005. 25 p.
7. DSTU 7126:2009. Syropy. Zahalni tekhnichni umovy. [Syrups. General specifications]. DP «UkrNDNTs». [SE «UkrNDNC»]. Kyiv, 2009. 18 p.
8. DSTU 5059:2008. Vyroby kondyterski. Metody vyznachennia tsukriv. [Confectionery products. Methods of determination of sugars]. DP «UkrNDNTs». [SE «UkrNDNC»]. Kyiv, 2008. 31 p.
9. Hryhorenko, N. O., Sheiko, T. V., Sokolenko, N. O., Hrinenko, I. H., Khomichak, L. M., Smolenskyi, V. B. Patent. № 106921 Ukraina, MPK (2016.01) C13K 1/00 C13K 3/00 Sposib otrymannia siropu invertного. [Process for the preparation of invert syrup]; Applicant and Patent Attorney Institute of Food Resources of NAAS. № u201511474; stated. 23.11.2015; bjul. 10.05.2016, 4 p. [in Ukrainian].
10. Ukrainets, A., Shtanheieva, N., Kymenko, L. (2009). Tekhnolohii tsukroproduktiv i tsukrozaminnykiv. [Technologies of sugar products and sugar substitutes] Kyiv: Nukht, p. 63–64 [in Ukrainian].
11. Serna-Saldivar Sergio, R., Rito-Palomares Marco A. Patent. №W2005/031006A2 Mexico, IPC C13F. Production of invert syrup from sugarcane juice using immobilized invertase. №PCT/IB2004/003163; Application 29.09.2004 ; Publication 07.04.2005. 32 p.
12. Gabriela Quinlan, Mehmet Ali Döke, Yarira Ortiz-Alvarado, Norma Rodriguez-Gomez, Yilmaz Berk Koru, Robyn Underwood. (2023). Carbohydrate nutrition associated with health of overwintering honey bees. Journal of Insect Science. Volume 23, Issue 6. P. 16. <https://doi.org/10.1093/jisesa/iead084>.
13. Anatskyi, A. (2020). Metodychni vkazivky do samostiinoi roboty z dystsypliny biokhimiia. [Methodical instructions for independent work in the discipline "Biochemistry"]. Kamianske: Dniprovsky State Technical University. 38 p. [in Ukrainian].

ОПТИМІЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ ВОДОПІДГОТОВКИ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ СОКІВ
ЗА ДОПОМОГОЮ ГІДРОДИНАМІЧНОЇ КАВІТАЦІЇ*Целень Б. Я., к.т.н., п.н.с.*<https://orcid.org/0000-0001-5213-0219>*Ободович О. М., д.т.н., завідувач відділом,*<https://orcid.org/0000-0001-7213-3118>*Недбайло А. Є., к.т.н, с.н.с.*<https://orcid.org/0000-0002-8590-5823>*Гоженко Л. П., к.т.н, с.н.с.*<https://orcid.org/0000-0002-8999-1917>*Радченко Н. Л., к.т.н, с.н.с.*<https://orcid.org/0000-0002-5315-1609>

Інститут технічної теплофізики НАН України, Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-22>

Предмет. Підвищення ефективності дегазації води в технологіях відновлення соків за рахунок використання в циклі вакуумної дегазації інтенсифікуючого впливу гідродинамічної кавітації, яку запропоновано реалізовувати в кавітаційному апараті роторно-пульсаційного (РПА) типу зі спеціально розробленою конструкцією. На основі попереднього розрахунку запропоновано три режими обробки для вибору оптимального, які порівнювались з обробкою без застосування впливу кавітації. **Мета.** Вивчення можливості підвищення ефективності вакуумної дегазації води за рахунок використання РПА на основі оцінки концентрації залишкового кисню, можливості досягнення активації води, яка характеризується зміною рН, ОВП, електропровідності, а також часу релаксації. Оцінкою впливу кавітації на перебіг процесу відновлення соків за кількістю розчинних сухих речовин, показником титрованої кислотності, рН та стабільності при зберіганні з визначенням мікробіологічного показника. **Методи.** Аналіз та дослідження проводились з використанням методичних підходів. **Результати.** Показали ефективним використання РПА в комплексі з вакуумною дегазацією за динамікою зниження концентрації кисню з 5.6 до 2.0 мг/л, для порівняння, при обробці вакуумною дегазацією зниження становило до 4.7 мг/л за аналогічний час обробки. Досягнуто ефекту активації води, який залишався стабільним не менше 48 годин і супроводжувався підвищенням рН від 0.9 до 1.18 залежно від режимів, зниженням ОВП від 11 до 15 мВ та зниженням електропровідності в діапазоні від 8 до 15 мкСм. Досягнуто підвищення масової частки розчинних сухих речовин, яке склало 15.43% і 15.92%, а показник рН 3.8 та 4.0, для порівняння у зразках оброблених вакуумною дегазацією – 14.3%, а рН – 3.55. Оцінка за мікробіологічними показниками показала, що більш ефективною з точки зору підвищення стійкості соку є дегазація з використанням кавітаційних ефектів, що підтверджено незначним зростанням КМАФАМ і дріжджів. Окрім цього обладнання відповідає критеріям енергоефективності, екологічності і є простим у реалізації для промислових масштабів. **Сфера застосування результатів.** В технологіях відновлення соків з низькою кислотністю.

Ключові слова: дегазація, гідродинамічна кавітація, вода, соки, активація

OPTIMIZATION OF THE WATER TREATMENT PROCESS FOR JUICE RECOVERY
USING HYDRODYNAMIC CAVITATION*Bogdan Tselen, PhD, Engineering, Leading researcher*<https://orcid.org/0000-0001-5213-0219>*Oleksandr Obodovych, D-r of Sc., Engineering, Head of Department*<https://orcid.org/0000-0001-7213-3118>*Anna Nedbailo, PhD, Engineering, Senior researcher*<https://orcid.org/0000-0002-8590-5823>*Liubov Gozhenko, PhD, Engineering, Senior researcher*<https://orcid.org/0000-0002-8999-1917>*Nataliya Radchenko, PhD, Engineering, Senior researcher*<https://orcid.org/0000-0002-5315-1609>

Institute of Engineering Thermophysics of NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Subject. Increasing the efficiency of water degassing in juice recovery technologies due to the use in the vacuum degassing cycle of the additional intensifying effect of hydrodynamic cavitation, which is proposed to be implemented in a specially designed rotary-pulsation (RPA) type cavitation apparatus. Based on the preliminary calculation, three processing modes were proposed for choosing the optimal one, which were compared with processing without cavitation. **Purpose.** To study the possibility of increasing the efficiency of vacuum degassing of water due to the use of RPA based on the assessment of the concentration of residual oxygen, the possibility of achieving activation of water, which is characterized by a change in pH, ORP, electrical conductivity, as well as relaxation time. Assessment of the impact of cavitation on the course of the juice recovery process by the amount of soluble solids, the index of titrated acidity, pH and stability during storage with the determination of the microbiological index. **Methods.** Analysis and research were carried out using methodical approaches. **Results.** Showed the effective use of RPA in a complex with vacuum degassing in terms of the dynamics of oxygen concentration reduction from 5.6 to 2.0 mg/l , for comparison, with vacuum degassing treatment the reduction was up to 4.7 mg/l for the same treatment time. A water activation effect was achieved, which remained stable for at least 3 hours and was accompanied by an increase in pH from 0.9 to 1.18 depending on the modes, a decrease in ORP from 11 to 15 mV, and a decrease in electrical conductivity in the range from 8 to 15 μS . An increase in the mass fraction of soluble solids was achieved, which amounted to 15.43% and 15.92%, and the pH value was 3.8 and 4.0, for comparison, in the samples treated with vacuum degassing, it was 14.3%, and the pH value was 3.55. The assessment of microbiological indicators showed that degassing using cavitation effects is more effective in terms of increasing the stability of the juice, which is confirmed by a slight increase in harmful microflora. In addition, the equipment meets the criteria of energy efficiency, environmental friendliness and is easy to implement on an industrial scale. **Scope of results.** In technologies for the recovery of juices with low acidity.

Key words: degassing, hydrodynamic cavitation, water, juices, activation

Постановка проблеми. Забезпечення якісної водопідготовки на підприємствах харчової промисловості є однією із головних умов успішного розвитку усієї галузі, однак, разом із цим, важливим завданням залишається енергоощадність та екологічність цих технологій. Забезпечення відповідності сучасних технологій водопідготовки цим критеріям є актуальною проблемою для науковців і практиків.

Актуальність. Сучасні промислові системи водопідготовки достатньо складні та багатоетапні оскільки вода, яка використовується для виробництва харчових продуктів є багатоцільовою і присутня на всіх етапах виробництва. Традиційно такі технології включають: механічну очистку відстоюванням, фільтрацією; знезараження хімічними методами (хлорування, озонування, коагуляція, флокуляція) чи фізичними (ультразвук, ультрафіолет чи їх комбінації); знезалізнення фільтрацією чи хімічними методами; пом'якшення, наприклад в іонообмінних апаратах; кондиціонування хімічними або фізичними методами (магнітний чи радіочастотний). Послідовність кожного із перелічених етапів та їх комбінація можуть варіюватись, що і визначає екологічність, енергоефективність та продуктивність технології. Для ряду харчових виробництв існують додаткові вимоги до водопідготовки. До них відносять виробництво відновленням різних концентратів, соків, молочних продуктів, нектарів, морсів, безалкогольних соковмісних напоїв та вин. В технологіях відновлення цих продуктів особливо важливими є відсутність у воді розчинених газів, які спричиняють окислення продукту. Тобто крім традиційних необхідно окремо проводити дегазацію води. В таких технологіях водопідготовки дегазація води самостійно не проводиться, а досягається переважно у комплексі, з іншими методами, зокрема, знезалізненням, пом'якшенням чи знесоленням. Проводять її нагріванням у термічних чи вакуумних дегазаторах, мембранних апаратах, адсорбційних колонах, які досить громіздкі, енерговитратні і високовартісні. Як альтернативу можуть додавати різноманітні реагенти, які мають здатність зв'язувати газові молекули піднімаючи їх на поверхню, що потребує їх наступного видалення. У цьому випадку необхідність подальшої нейтралізації залишків реагентів у обробленій воді значно

ускладнює загальну технологію водопідготовки. Для усунення цих недоліків авторами запропоновано дегазацію води проводити у циклі з кавітаційною обробкою. На сьогоднішній день найбільш перспективними вважають [1, 2] акустичну кавітацію та гідродинамічну. Однак, через ряд причин, акустична на даному етапі не використовується в промислових масштабах через енергоємність обладнання, складність конструкцій та високу вартість виготовлення. За даними роботи [3] такі конструкції не розраховані для використання в промислових масштабах через складність обробки значних обсягів рідин та малий коефіцієнт корисної дії. Цих недоліків на думку [4] позбавлена гідродинамічна кавітація. Тому авторами альтернативно запропоновано використання саме гідродинамічної кавітаційної обробки, яку пропонується проводити у роторно-пульсаційному апараті (далі РПА). Використання даного типу обладнання у циклі з дегазацією у повній мірі відповідає критеріям екологічності, енергоефективності та є простим у реалізації для промислових масштабів.

Протягом багатьох років в ІТТФ НАНУ на основі концепції дискретно-імпульсного вводу енергії (ДІВЕ) проводяться розробки високоефективних РПА різної конфігурації для реалізації процесів емульгування, диспергування, гомогенізації та знезараження різних рідинних систем для потреб не лише харчової промисловості, а й хімічної, фармацевтичної, АПК і ін. Серед них [5] доведена ефективність використання РПА у комплексі з дегазацією для нейтралізації кислого конденсату, який утворюється в міських котельнях при згорянні природного газу, де нейтралізація конденсату досягається за рахунок підвищення показника рН та видалення розчинених газів в умовах створюваного інтенсивного кавітаційного впливу. В рамках даного напрямку проведено попередні дослідження та розроблено РПА спеціальної конструкції для використання у циклі вакуумної дегазації води, як інтенсифікуючий фактор на прикладі технології відновлення соків. За попередніми розрахунками [5] використання запропонованого підходу дозволить в режимі рециркуляційної обробки (РПА-вакуумна ємність з розпилом) знизити поріг кавітації та створити більш жорсткі умови перебігу процесу, зокрема, за рахунок особливостей конструкції РПА. Таким чином за короткий час обробки можливо одночасно досягати глибокої дегазації, знезараження та активації води при якій вона переходить у метастабільний стан змінюючи свої фізико-хімічні властивості і розчинну здатність. Дані припущення зроблено на основі аналізу багаточисельних досліджень І. М. Федоткіна, О. Ф. Немчина, Т. М. Вітенько, а також розробок А. А. Комарова, Sun H. та ін., які свідчать про ефективність застосування кавітаційного методу для активації води. В роботах [3,6] є дані, що вода після активації протягом певного проміжку часу (48...72 год) набуває властивість підвищеної хімічної активності, змінюються її електрохімічні показники: рН, ОВП, електропровідність, зростає її проникність та розчинна здатність, що є важливими показниками в технологіях відновлення соків, напоїв і т.д. За даними цих же авторів дія інтенсивної гідродинамічної кавітації веде до послаблення енергії водневих зв'язків між молекулами та одночасного збільшення їх рухливості. З позиції хімічних змін у воді автори [4] спираючись на роботи І.М. Федоткіна та на основі отриманих ними практичних даних зміни рН, дали ґрунтовне пояснення механізму іонізації води під впливом гідродинамічного кавітаційного поля. Зокрема, пояснюючи, що в умовах гідродинамічної кавітації відбувається вивільнення водневих зв'язків, деструктування каркасу води і клатральних комплексів аж до однієї молекули води. В інших своїх роботах [4] привели дані про утворення під впливом кавітаційного поля у воді вільних іонів, які здатні прискорювати проникнення речовин інтенсифікуючи різні масообмінні процеси, а також зробили припущення про утворення радикалів гідроксилу, які мають підвищену реакційну здатність та здатність знезараження води. Цю думку поділяють автори [7,8], які наводять інформацію про утворення гідроксильних радикалів внаслідок колапсу бульбашок та виникаючих високих температур, тиску і, як наслідок, завдяки своїй окислювальній властивості мають здатність до знезараження.

Даний механізм, етапи та схему утворення радикалів усередині бульбашки, що руйнується, та їх дисперсії в об'ємних розчинах детально розглянуто у [9]. Тому мета роботи дослідити можливість підвищення ефективності вакуумної дегазації води в технологіях відновлення соків за рахунок використання в циклі дегазації інтенсивних гідродинамічних кавітаційних ефектів створюваних РПА спеціальної конструкції. Пропонований підхід дозволить в режимі рециркуляції за короткий проміжок часу досягти більш глибокої дегазації, активації води та її знезараження, що в подальшому може впливати на властивості відновленого соку та стабільність при зберіганні. Для досягнення даної мети **сформульовано завдання:**

- Оцінити ефективність процесу дегазації води реалізованої сумісно з дією гідродинамічної кавітації і порівняти її з вакуумною дегазацією води без використання кавітації за залишковою концентрацією O_2 ;

- Дослідити можливість досягнення активації води в результаті сумісного впливу дегазації та гідродинамічної кавітації за зміною її фізико-хімічних показників (рН, ОВП, електропровідності) та визначити стійкість отриманого ефекту у часі (час релаксації);

- Оцінити ефективність впливу створюваних ефектів на перебіг процесу відновлення соків за кількістю розчинних сухих речовин, показником титрованої кислотності та рН відновленого соку та дослідити динаміку мікробіологічного показника у відновленому продукті в процесі зберігання.

Матеріали і методи. 1–3 – зразки обробленої води при трьох режимних параметрах, які включають дію гідродинамічної кавітації створюваної РПА; 4 – зразок води дегазованої вакуумуванням без використання кавітації; 5 – необроблений зразок води з централізованого водопостачання м. Києва згідно ДСанПіН 2.2.4-171-10 2.2.4-171-10. Для обробки води використовували дослідну установку (рис.1) принцип роботи якої побудований на використанні сукупності гідродинамічних кавітаційних ефектів створюваних способом ДІВЕ [10] та реалізованих у РПА спеціальної конструкції (ротор-статор-ротор), який працює в контурі рециркуляції вакуумної камери дегазації. В схемі дослідної установки РПА спеціальної конструкції з'єднаний напряму з вакуумною камерою в якій за допомогою вакуумного насоса створювався тиск нижчий за атмосферний з відведенням видалених газів. Їх комплексна дія дозволяє знизити поріг кавітації та створити більш інтенсивний динамічний вплив на оброблювану воду. В ході експериментів параметри тиску в камері контролювались вакуумметром, а тиск в системі – манометрами, які розташовано в системі перед та за РПА. Контроль температури води здійснювався перед обробкою та після обробки для кожного з дослідних режимів. Обробку води здійснювали шляхом рециркуляції в контурі РПА – вакуумна камера протягом 4 хвилин при інтенсивному впливі височастотних гідродинамічних коливань при змінному абсолютному тиску в діапазоні 0.05...0.15 МПа з подальшим розпилюванням у вакуумну камеру для досягнення глибокої дегазації (контур 1). Режимні параметри обирались за попереднім теоретичним розрахунком. Для порівняння обробку води проводили дегазацією вакуумуванням без використання РПА (контур 2). Для дегазації води вакуумуванням використовували цикл 4-х хвилинної обробки при тиску 0.014 МПа. з виключенням РПА із контуру. Обробка води проводилась з використанням РПА при різних режимних параметрах 1–3 для визначення найбільш ефективного та, для порівняння, з вакуумною дегазацією при режимі 4. Режимні параметри 1–3 передбачали: 1 – обробка протягом 2 хв. з розпилюванням у вакуумну камеру при тиску 0.1 МПа з подальшим продовженням обробки протягом 2 хв. з розпилюванням у вакуумну камеру при тиску 0.014 МПа; 2 – обробка протягом 4 хв. з розпилюванням у вакуумну камеру при тиску 0.1 МПа; 3 – обробка протягом 4 хв. з розпилюванням у вакуумну камеру при тиску 0.014 МПа; 4 – дегазація вакуумуванням протягом 4 хв з розпилюванням у камеру при тиску 0.014 МПа.



Рис. 1. Дослідна установка для дегазації води

1 – цикл дегазації РПА – вакуумна камера;

2 – дегазація у вакуумній камері

всього часу обробки для кожного з дослідних режимів (1–4). Показники рН, ОВП, електропровідність та розчинений кисень фіксувались в кожному з оброблених зразків води відразу після обробки, через 1 годину, 2 години, 3 години, 5 годин, 10 годин, 24 години та 48 годин з наступним порівнянням зі зразками необробленої води (контрольний). Для точності отриманих результатів експерименти повторювали тричі для напрацювання масиву даних та їх наступної обробки використовуючи програму Microsoft Excel. Вимірювання рН, ОВП, електропровідності проводили на портативному приладі EZODO PCT-407 (рН-метр/кондуктометр/ОВП-метр) згідно стандартної інструкції з експлуатації. Вимірювання концентрації розчиненого кисню в зразках проводили на оксиметрі EZODO PDO-408 згідно стандартної інструкції з експлуатації без контакту з повітрям. Підготовка лабораторного посуду для експериментів проводилась згідно МВ 10.2.1-113-2005 Санітарно-мікробіологічний контроль якості питної води п.6. Відбір проб води здійснювали в стерильні колби об'ємом 500 мл. з пробкою без доступу повітря. Для відновлення соку брали виноградний концентрат з концентрацією сухих речовин, Brix (%) 65, кислотністю 1.5%, який відновлювали у зразках води №1, №3, котрі отримано при режимах обробки 1 і 3 та у зразках води №4 дегазованої вакуумуванням. Для цього у концентрат вносили у першому експерименті підготовлені зразки води №1, у другому – №3 і у третьому зразки №4 зі співвідношенням компонентів 1:3.0 (1 частина концентрату на 3.0 частини води). Температура зразків води становила 20°C. Підготовлені зразки соку піддавались спочатку перемішуванню та наступній фільтрації для видалення частинок і осаду. Визначення масової частки розчинних сухих речовин у відновлених зразках соку та титрованої кислотності проводили за ДСТУ 7159:2010 Консерви. Соки відновлені. Для визначення патогенної мікрофлори, а також загального мікробного числа використано методику мембранної фільтрації за якою передбачено визначення числа мезофільних аеробних і факультативно анаеробних мікроорганізмів здатних утворювати колонії на поживному агарі згідно МВ 10.2.1-113-2005 Санітарно-мікробіологічний контроль якості питної води п.7. Для визначення дріжджів – ДСТУ ISO 7954:2006.

Результати досліджень показали, що всі запропоновані режимні параметри обробки з використанням кавітаційних ефектів створюваних РПА дозволяють досягти глибокої дегазації води протягом 4 хвилин обробки (таблиця 1). Однак максимальне зниження концентрації кисню досягнуто для зразків оброблених за режимними параметрами №3 від 5.6 до 2.0 мг/л, а мінімальне – для №1 від 5.6 до 3.0 мг/л. Порівняння досягнутих результатів зі зразками води №4 дегазованої вакуумуванням показало меншу динаміку зниження концентрації кисню до 4.7 мг/л протягом аналогічного часу обробки.

Аналізуючи результати таблиці 2 зміни фізико-хімічних показників води, яка піддавалась кавітаційному впливу встановлено, що для трьох пропонованих режимів

Процес обробки води супроводжується зміною температури та електрохімічних показників: рН, ОВП, електро-провідності, а при дегазації – зміною вмісту кисню і внаслідок сукупного впливу обох факторів – зміною мікробіологічного показника. Дані явища фіксувались вимірюванням зміни температури оброблюваної води до обробки та через кожну хвилину протягом

можливо досягати ефекту активації, на що вказує підвищення рН, зниження ОВП та електропровідності. Необхідно додати, що після обробки показники залишались стабільними протягом 48 годин. Зростання рН варіювалось від 0.9 до 1.18 залежно від режимів 1-3, а для зразків оброблених вакуумною дегазацією рН зріс на 0.15.

Таблиця 1

Зміна вмісту кисню у зразках води дегазованої за різними режимами

Зразок води	Концентрація кисню O ₂ , мг/л після обробки, год			
	після обробки	1	24	48
№1	3.0	3.0	3.0	3.0
№2	2.8	2.8	2.8	2.8
№3	2.0	2.0	2.0	2.0
№ 4 Дегазована вакуумуванням	4.7	4.7	4.7	4.7
№5 Необроблена	5.6	5.6	5.6	5.6

Таблиця 2

Зміна фізико-хімічних показників води дегазованої за різними режимами

Зразок води	рН	ОВП, мВ	Електропровідність, мкСм
№1	8.15	154.0	333.0
№2	8.4	153.0	329.0
№3	8.43	150.0	326.0
№ 4 Дегазована вакуумуванням	7.4	158.0	338.0
№5 Необроблена	7.25	165.0	341.0

що в умовах вакууму вода починає кипіти за нижчої температури, а процес кипіння пов'язаний з поглинанням тепла з води, що і пояснює незначне зниження. Отже серед досліджуваних режимних параметрів найменших змін зазнав зразок № 4, що пройшов дегазацію вакуумуванням протягом 4 хв з розпилюванням у камеру при тиску 0.014 МПа. для якого рН зріс на 0.15, ОВП знизився на 7мВ., а електропровідність на 3 мкСм. Найбільших змін зазнав зразок води №3 оброблений при дослідному режимі №3, який передбачав обробку в РПА при змінному абсолютному тиску 0.05÷0.15 МПа з розпилюванням у вакуумну камеру при тиску 0.014 МПа протягом 4 хвилин в режимі рециркуляції. При даних режимах було досягнуто найбільш глибокої дегазації – від 5.6 мг/л O₂ до 2.0 мг/л O₂, найбільшого зростання рН від 7.25 до 8.43, зниження ОВП до 150.0 мВ та електропровідності до 326.0 мкСм. При цьому, приріст температури за час обробки склав 4°C. Тобто аналізуючи дослідні режими можна стверджувати, що регулюючи інтенсивність кавітаційного колапсу парогазових бульбашок у воді або зовсім уникаючи його шляхом задання необхідних параметрів можна регулювати співвідношення концентрацій мономерних молекул води і вільних радикалів аж до практично повної відсутності останніх. Реалізувати їх можна за рахунок регулювання значень тиску і температури рідини та газового середовища в основних робочих вузлах контролюючи при цьому амплітудно-частотну характеристику і величину звукового тиску в генераторі високочастотних гідродинамічних коливань. Дані по вмісту кисню в зразках активованої води (таблиця 1) свідчать про глибоку дегазацію води, що також впливає на зміну її водневого показника. Механізм перебігу процесу в кавітаційних течіях висвітлено в попередніх роботах [10]. При використанні води для відновлення соків досягнуті ефекти

Паралельне вимірювання ОВП показало, зниження значень від 11 до 15 мВ, однак, без переходу до негативних значень, а електропровідності від 8 до 15 мкСм залежно від режимів. При цьому, для зразків води №4 обробленої вакуумуванням встановлено, що електропровідність знизилась на 3 мкСм, а ОВП на 7 мВ.

Результати вимірювань температури води обробленої за трьома дослідними режимами показали незалежне стійке лінійне підвищення температури, яке склало від 3°C (режим 1) до 4°C (режим 3) протягом 4 хвилин обробки тобто на 0.8...1°C за хвилину. Отримані дані лінійної залежності зростання температури корелюються з даними досліджень Z. Zheng. При цьому, для зразків №4 спостерігалось незначне зниження температури на 0.3°C за 4 хвилини обробки, яке можна пояснити тим,

глибокої дегазації та активації можуть створювати позитивний вплив, оскільки досить часто залишкові гази спричиняють окислення компонентів соку та погіршують його органолептичні властивості. З іншої сторони досягнутий ефект активованої води може сприяти більш швидкому і ефективному розчиненню сухих речовин при відновленні соків, покращуючи їх однорідність і якість, а зміна рН дозволить коригувати рН відновлених соків, які мають низьку кислотність концентрату та потребують додавання цукру, що веде до підвищення їх калорійності, наприклад, апельсиновий, виноградний, грейпфрутовий, журавлиний, лайму.

Експериментальним шляхом було встановлено, що ефект активації води для всіх режимних параметрів обробки зберігався майже без змін протягом 48 годин. За даний проміжок часу на графіках 1–3 (рисунк 2,3) спостерігали утворення невеликої полички та подальшу незначну динаміку показників, що можна пояснити частковим поверненням системи до стану рівноваги та можливістю перебігу зворотних хімічних реакцій, які і зумовлюють подальше незначне зниження рН (на 0.2 од). Для порівняння, значення рН зразку води дегазованої вакуумуванням показало зниження на 0.1од протягом 48 годин без утворення характерної полички. У той же час для необробленої води протягом аналогічного часу рН поступово зростав і через 48 годин приріст становив 0.3 од.

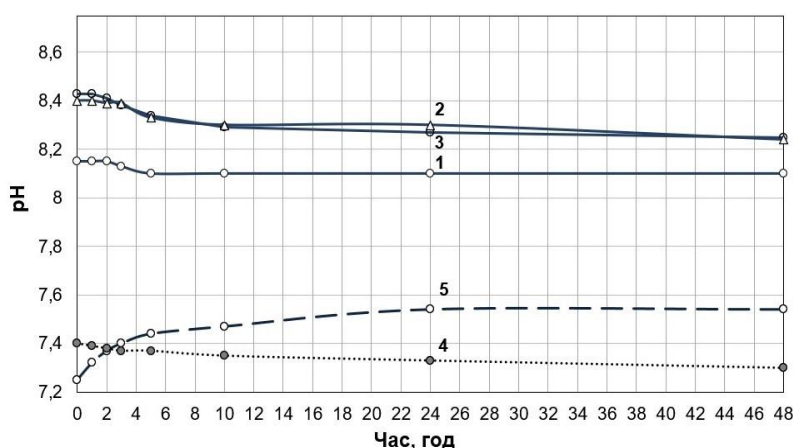


Рис. 2. Зміна водневого показника в часі зразків води:

1 – обробленої за режимом № 1; 2 – обробленої за режимом № 2; 3 – обробленої за режимом № 3; 4 – дегазованої вакуумуванням; 5 – необробленої

Паралельний контроль ОВП (рис. 3а) протягом 24 години показав поступове зростання, яке для зразків № 3 показало найбільший приріст від 150 до 161 мВ. При цьому найбільш інтенсивне підвищення виявилось протягом 3 годин після обробки зі 150 до 155 мВ, що підтверджує попереднє припущення про час релаксації системи. Подібна закономірність зберігалась для зразку №1, однак зростання становило від 154 до 165 мВ та зразків

№2 для них ОВП зріс від 153 до 163 мВ.

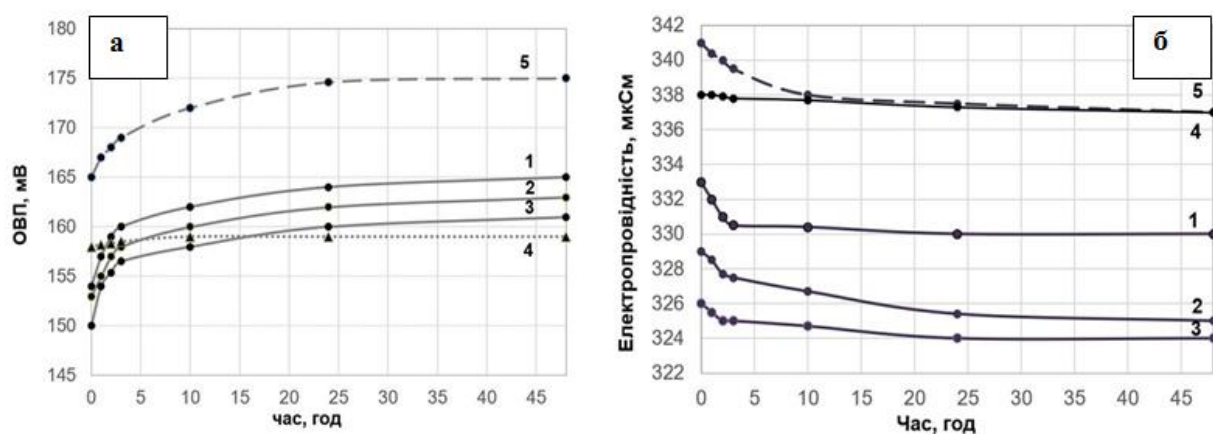


Рис. 3. Зміна окисно-відновного потенціалу в часі зразків води:

1 – обробленої за режимом № 1; 2 – обробленої за режимом № 2; 3 – обробленої за режимом № 3; 4 – дегазованої вакуумуванням; 5 – необробленої

Для зразків №4 оброблених вакуумуванням значення окисно-відновного потенціалу залишилось майже незмінним, а для необробленої води змінився на 1 мВ. Під час зберігання зразків №1...3 активованої води спостерігалось також незначне зниження електропровідності (рис. 3б), яка інтенсивніше зменшувалась протягом 3 годин після активації і далі протягом наступних 48 годин практично не змінювалась. Зокрема для зразків №1...3 на 2...4 мкСм., а для дегазованої води вакуумуванням за аналогічний час обробки залишилась практично незмінною. Для порівняння, електропровідність зразків необробленої води також знизилась на 4 мкСм. Отже, отримані дані показали ефективність застосування способу ДІВЕ, який реалізує ефекти гідродинамічної кавітації для досягнення ефекту активації води, та її глибокої дегазації. Оцінку ефективності впливу досягнутих ефектів на перебіг процесу відновлення соку проводили за показниками кількості розчинних сухих речовин, титрованої кислотності і рН відновленого соку та наступним їх порівнянням зі зразками соку відновленими у воді обробленій вакуумною дегазацією. Результати досліджень, які представлено в таблиці 3 показали, що активація води сприяє ефективнішому розчиненню сухих речовин, зокрема, при відновленні зразків виноградного соку у зразках №1 і №3 масова частка розчинних сухих речовин становила 15.43% і 15.92% а у зразках №4 оброблених вакуумною дегазацією – 14.3%. Відомо, що соки з вищим вмістом сухих речовин зазвичай характеризуються більш насиченим смаком, ароматом, мають вищу в'язкість та кращу текстуру з точки зору органолептики, що є безумовною перевагою. Масова частка титрованих кислот для дослідних зразків соку склала 0.375%. При цьому, показник рН відрізнявся і для зразків соків відновлених у активованій воді він був вище та становив 3.8 і 4.0, у той час, як рН соку відновленого у воді дегазованої вакуумуванням проявив вищу кислотність – 3.55. Така різниця суттєво впливає на смакові властивості соків та на їх стабільність при зберіганні. Відомо, що соки з вищим рН характеризуються більш м'яким і приємним смаком та є менш агресивними при вживанні, у той час, як соки з нижчим рН більш кислі і різкі на смак, проте більш стабільні при зберіганні.

Таблиця 3

Зміна властивостей відновлених зразків виноградного соку

Показник	Сік відновлений у зразках води		
	№1	№3	№4
Масова частка розчинних сухих речовин, %	15.43	15.92	14.3
Масова частка титрованих кислот (у перерахунку на винну кислоту)	0.375	0.375	0.375
рН	3.8	4.0	3.55

Тому наступним етапом стало порівняння стабільності зразків за мікробіологічними показниками. Основні зміни включають ріст бактерій, дріжджів, патогенної мікрофлори і їх найменша присутність може призвести до зниження стабільності при зберіганні та псування в цілому. Мікробіологічна стабільність зразків соків визначалась за КМАФАМ, патогенною мікрофлорою та наявністю дріжджів. Як видно із результатів таблиці 4, найбільш ефективною з точки зору підвищення стійкості соку є попередня дегазація з використанням кавітаційних ефектів. Незначне зростання мікробіологічних показників з 3.0 до 3.5 КУО/см³ в зразках №1 та з 2.0 до 2.2 КУО/см³ в зразках №3 протягом 24 годин зберігання можна пояснити створюваним кавітаційною дією ефектом знезараження. Він пов'язаний з тим, що утворені кавітаційні бульбашки переміщуються до зон високого тиску, де вони миттєво руйнуються (схлопуються), що створює локальні температури до 5000°C та тиск до 1000 атм. Такий мікро-вибух механічно руйнує клітини мікроорганізмів серед яких бактерії, віруси та ін. З іншої сторони кавітаційний вплив супроводжується утворенням гідроксильних радикалів, котрі завдяки своїй окислювальній властивості мають додатково здатність до знищення шкідливої мікрофлори у обробленій воді.

З отриманих результатів видно, що більш динамічним виявилось зростання мікробіологічних показників відновленого соку у воді обробленій вакуумуванням, хоча нижчий рН мав би пригнітити активний ріст шкідливої мікрофлори. Тобто вплив кавітаційного ефекту є домінуючим фактором пригнічення шкідливої мікрофлори. Результати показали відсутність дріжджів у зразках №1 та №3 та зростання їх кількості в зразках соку відновлених у воді, що пройшла вакуумну дегазацію з $3 \cdot 10$ до $5 \cdot 10^2$ КУО/г. Також отримані дані свідчать відсутність патогенної мікрофлори в усіх зразках.

Таблиця 4

Мікробіологічні показники відновленого виноградного соку при зберіганні

Показник	Час зберігання, 0 год			Час зберігання, 24 год		
	№1	№3	№4	№1	№3	№4
КМАФАМ, КУО/см ³	3.0	2.0	$7.4 \cdot 10$	3.5	2.2	$7.5 \cdot 10^2$
Дріжджі, КУО/г	-	-	$3 \cdot 10$	-	-	$5 \cdot 10^2$
Патогенна мікрофлора	-	-	-	-	-	-

Висновки. Встановлено, що всі запропоновані режимні параметри обробки з використанням кавітаційних ефектів створюваних РПА дозволяють досягти глибокої дегазації води вже протягом 4 хвилин обробки. Максимальне зниження концентрації O_2 з 5.6 до 2.0 мг/л спостерігалось для зразків №3, а мінімальне з 5.6 до 3.0 мг/л для зразків води №1. Порівняння з вакуумною дегазацією води без використання кавітації показало найменше зниження концентрації O_2 до 4.7 мг/л протягом аналогічного часу обробки.

Встановлено, що для трьох пропонуваніх режимів можливо досягати ефекту активації води, що підтверджується підвищенням рН, яке варіювалось від 0.9 до 1.18 залежно від режимів 1-3, зниження ОВП від 11 до 15 мВ та зниження електропровідності в діапазоні від 8 до 15 мкСм. При цьому, приріст температури під час обробки склав $0.8 \dots 1^\circ\text{C}$ за хвилину. Встановлено, що після обробки показники активованої води для зразків 1-3 залишались практично стабільними 48 годин. При порівнянні з вакуумною дегазацією показник рН зразків зріс на 0.15, електропровідність знизилась на 3 мкСм, а ОВП на 7 мВ. Найбільших змін зазнав зразок води №3 оброблений в РПА при змінному абсолютному тиску $0.05 \div 0.15$ МПа з розпилюванням у вакуумну камеру при тиску 0.014 МПа протягом 4 хвилин в режимі рециркуляції для якого спостерігалось найбільше зростання рН від 7.25 до 8.43, зниження ОВП до 150.0 мВ та електропровідності до 326.0 мкСм.

Встановлено, що використання впливу кавітаційних ефектів підвищує ефективність процесу відновлення соків. Зокрема, при відновленні виноградного соку у зразках активованої води масова частка розчинних сухих речовин становила 15.43% і 15.92%, показник рН 3.8 та 4.0, а у зразках оброблених вакуумною дегазацією – 14.3%, при цьому, рН показав більшу кислотність – 3.55. Масова частка титрованих кислот склала 0.375. Оцінка за мікробіологічними показниками показала, що найбільш ефективною з точки зору підвищення стійкості соку є попередня дегазація з використанням кавітаційних ефектів, оскільки спостерігалось незначне зростання КМАФАМ для зразків №1 і №3 з 3.2 до 3.7 КУО/г(см³) та з 2.0 до 2.2 КУО/г(см³), у той час, як динаміка для зразків №4 зростає з $7.4 \cdot 10$ до $7.5 \cdot 10^2$ КУО/г(см³), а кількість дріжджів з $3 \cdot 10$ до $5 \cdot 10^2$ КУО/г протягом 24 годин зберігання. Встановлено, що патогенна мікрофлора в усіх зразках відсутня.

Одержані результати можуть використовуватись в технологіях відновлення соків з низькою кислотністю.

Бібліографія

1. Веретельник Т. И., Цыба А. А., Себко А. В. Влияние гидродинамической кавитационной обработки на электрохимические показатели водопроводной воды. Вісник НТУУ «КПІ». Серія машинобудування. 2014. № 3 (72), С. 97–103 <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/c4fff15a-8621-4bce-b3ab-d15591aa87ff/content>.

2. Ashokkumar M., Krasulya O. & Shestakov S., Rink R. A new look at cavitation and the applications of its liquid-phase effects in the processing of food and fuel. *Applied Physics Research*. 2012. Vol. 4, № 1, P. 19–29 <http://dx.doi.org/10.5539/apr.v4n1p19>.
3. Вітенько Т., Сілін Р., Баран Б., Гордєєв А. Гідродинамічна кавітація у масообмінних, хімічних і біологічних процесах: монографія. Хмельницький нац. ун-т. Хмельницький: ХНУ, 2009. 254 с.
4. Вітенько Т.М., Гащин О.Р. Гідродинамічна кавітація як один із способів активації рідких середовищ. *Наукові праці ОНАХТ*. 2006, Вип. 28, Т. 2 С. 20–23 https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=uk&user=61aJLWUAAAAAJ&cstart=20&pagesize=80&citation_for_view=61aJLWUAAAAAJ:EYYDruWGB4C.
5. Dolinskiy A., Tselen B., Ivanitskiy G., Konyk A., Radchenko N., Hartviih A. Using of the energydiscrete-pulse inputmethod forthe condensatenatural gas combustion productsneutralizing, *Scientific Works*. 2017. Vol. 81(1), P. 9-14 <https://doi.org/10.15673/swonaft.v81i1.663>.
6. Маргуліс М. Сонолюмінісценція. *Успіхи фіз. наук*. 2000, 170(3), С. 263–287.
7. Chaudhuri J., Chatterjee D. Modelling of chemical kinetics in the presence of hydrodynamic cavitation for wastewater treatment applications. *Chemical Engineering Science*. 2024. 295. 120167. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2024.120167>.
8. Kalmár C., Turányi T., Zsély I., Papp M., Hegedűs F. The importance of chemical mechanisms in sonochemical modelling. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022. 83. 105925 <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.105925>.
9. Peng K., Qin F., Jiang R., Qu W. Production and dispersion of free radicals from transient cavitation Bubbles: An integrated numerical scheme and applications. *Ultrasonics Sonochemistry*. 2022. 88, 106067.
10. Tselen B., Ivanitsky G., Obodovych O., Radchenko, N., Nedbailo A., Gozhenko L. Discrete-pulsed energy input-based method for neutralisation of the acidic condensate. *Rocznik Ochrona Środowiska*. 2023. 25, 215–221. <https://doi.org/10.54740/ros.2023.021>.

References

1. Veretelnyk, T., Tsyba, A., Sebko, A. (2014). Vliyanye hydrodynamicheskoi kavytatsyonnoi obrabotky na elektrokhimicheskiye pokazately vodoprovodnoi vody. *Visnyk NTUU «KPI». Seriya mashynobuduvannya*. 3 (72), P. 97–103 <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/c4fff15a-8621-4bce-b3abd15591aa87ff/content> [in russian].
2. Ashokkumar, M., Krasulya, O., Shestakov, S., Rink, R. (2012). A new look at cavitation and the applications of its liquid-phase effects in the processing of food and fuel. *Applied Physics Research*. Vol. 4, No. 1, P. 19–29 <http://dx.doi.org/10.5539/apr.v4n1p19>.
3. Vitenko, T., Silin, R., Baran, B., Hordieiev, A. (2009). Hidrodynamichna kavitatsiia u masoobminnykh, khimichnykh i biolohichnykh protsesakh: monohrafiia. *Khmelnitskyi nats. un-t. Khmelnitskyi: KhNU*, 254. [in Ukrainian].
4. Vitenko, T., Hashchyn, O. (2006). Hidrodynamichna kavitatsiia yak odyin iz sposobiv aktyvatsiia ridkykh seredovyshch. *Naukovi pratsi ONAKhT*. 28, T. 2. 20–23. https://scholar.google.com.ua/citations?view_op=view_citation&hl=uk&user=61aJLWUAAAAAJ&cstart=20&pagesize=80&citation_for_view=61aJLWUAAAAAJ:EYYDruWGB4C [in Ukrainian]
5. Dolinskiy, A., Tselen, B., Ivanitskiy, G., Konyk, A., Radchenko, N., Hartviih, A. (2017). Using of the energydiscrete-pulse inputmethod forthe condensatenatural gas combustion productsneutralizing, *Scientific Works*. Vol. 81(1), P. 9-14 <https://doi.org/10.15673/swonaft.v81i1.663> [in Ukrainian].
6. Marhulis, M. Sonoluminisentsiia. *Uspikhy fiz. nauk*. 2000, 170(3), P. 263–287.
7. Chaudhuri, J., Chatterjee, D. (2024). Modelling of chemical kinetics in the presence of hydrodynamic cavitation for wastewater treatment applications. *Chemical Engineering Science*. 295. 120167. <https://doi.org/10.1016/j.ces.2024.120167>.
8. Kalmár, C., Turányi, T., Zsély, I., Papp, M., Hegedűs, F. (2022). The importance of chemical mechanisms in sonochemical modelling. *Ultrasonics Sonochemistry*. 83. 105925 <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2022.105925>.
9. Peng, K., Qin, F., Jiang, R., Qu, W. (2022). Production and dispersion of free radicals from transient cavitation Bubbles: An integrated numerical scheme and applications. *Ultrasonics Sonochemistry*. 88, 106067.
10. Tselen, B., Ivanitsky, G., Obodovych, O., Radchenko, N., Nedbailo, A., Gozhenko, L. (2023). Discrete-pulsed energy input-based method for neutralisation of the acidic condensate. *Rocznik Ochrona Środowiska*. 25, 215–221. <https://doi.org/10.54740/ros.2023.021>.

**КОМБУЧА – ФЕРМЕНТОВАНИЙ НАПІЙ НА ОСНОВІ ЧАЮ
ЯК КОМПОНЕНТ ОЗДОРОВЧОГО ХАРЧУВАННЯ****Челябієва В. М.**, к.т.н., доцент,

доцент кафедри харчових технологій та екології

<https://orcid.org/0000-0001-5364-4633>

Національний університет «Чернігівська політехніка», Чернігів, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-23>

Предмет. Комбуча – безалкогольний напій бродіння, який виробляють шляхом ферментації підсолоджененого чаю симбіотичною культурою бактерій і дріжджів (SCOBY). **Мета.** Дослідити вплив складу ферментованого субстрату на сенсорні та фізико-хімічні показники напою. **Методи.** Для досліджень використовували SCOBY масою 250 г, субстрат для ферментації складався з питної води, цукру, чорного або зеленого чаю. Субстрат з культурою залишали для ферментації при температурі 23–30°C. Визначали органолептичні та фізико-хімічні показники (рН, вміст сухих речовин) ферментованого напою. **Результати.** Бродіння субстрату починається з перетворення цукру дріжджами симбіотичної культури. Глюкоза зброджується дріжджами до етанолу та вуглекислого газу. Етанол окислюється бактеріями *Acetobacter* симбіотичної культури до ацетальдегіду, а потім до оцтової кислоти. У результаті ферментації субстрату SCOBY виробляється головним чином оцтова кислота та вуглекислий газ. Комбучу з найкращими органолептичними показниками одержували шляхом ферментації субстрату складу: 1,5 л води питної, 3 г чаю чорного або зеленого, 7,5 мас.% цукру. Температура бродіння 25–28°C. Тривалість бродіння 5–7 днів. Вміст сухих речовин у готовому напої становив 5,0%, рН – 4,0. Загальний оздоровчий ефект чорного і зеленого чаю зумовлений біологічно активними компонентами. Флаваноли, виділені з листя зеленого та чорного чаю є сильними антиоксидантами. Комбуча – продукт ферментації чорного або зеленого чаю має загальнооздоровчий ефект на організм людини, оскільки містить у своєму складі біологічно активні речовини чаю з доведеним оздоровчим впливом на організм людини. Завдяки ферментації настою чаю, напій набуває кислувато-солодкого смаку, дає освіжаючий ефект при споживанні, що робить цей напій популярним під час спеки, а рН $\leq 4,0$ напою запобігає небезпеці харчових отруєнь при його споживанні. **Сфера застосування результатів.** Отримані результати можуть бути застосовані при кустарному та промисловому виробництві комбучі, а також при формуванні оздоровчого харчового раціону.

Ключові слова: комбуча, симбіотична культура, бактерії, дріжджі, оздоровчі властивості

**KOMBUCHA – A FERMENTED BEVERAGE BASED ON TEA
AS A COMPONENT OF HEALTHY NUTRITION****Viktoriia Cheliabiieva**, PhD, Engineering, Associate Professor<https://orcid.org/0000-0001-5364-4633>

Department of Food Technology and Ecology

Chernihiv Polytechnic National University, Chernihiv, Ukraine

Subject. Kombucha is a non-alcoholic fermentation drink. The drink is obtained by fermenting sweetened tea with a symbiotic culture of bacteria and yeast (SCOBY). **Purpose.** The purpose of the work is to study the influence of the composition of the substrate for fermentation on the sensory and physicochemical parameters of the drink. **Methods.** A SCOBY with a weight of 250 g was used for the research. Drinking water, sugar, black or green tea were used to prepare the substrate into which the SCOBY was placed. The substrate with the culture was left for fermentation at a temperature of 23–30°C. The organoleptic and physicochemical indicators (pH, solids content) of the fermented drink were determined. **Results.** Fermentation begins with the conversion of sugar by yeast. Sugar is broken down into glucose and fructose. Glucose is fermented by yeast SCOBY to ethanol and carbon dioxide. Ethanol is oxidized by bacteria *Acetobacter* to acetaldehyde and then to acetic acid. As a result, the SCOBY produces primarily acetic acid and carbon dioxide during the fermentation process of the tea sugar infusion. Kombucha with the best organoleptic indicators was obtained by fermentation of a substrate

*composed of: 1.5 liters of drinking water, 3 g of black or green tea, 7.5 wt.% of sugar. The fermentation temperature is 25-28°C. Duration of fermentation is 5-7 days. The content of dry substances in the finished drink is 5.0%, pH – 4,0. The general health effect of kombucha is due to the biologically active components of the tea. Flavones extracted from green and black tea leaves have very strong antioxidant properties. Thanks to the fermentation of the tea, the drink acquires a sour-sweet taste, has a refreshing effect when consumed, which makes this drink popular during the heat, and the $pH \leq 4.0$ of the drink prevents the danger of food poisoning when consumed. **Scope of results.** The results can be useful in artisanal and industrial production of kombucha, as well as in the formation of a health food diet.*

Key words: kombucha, symbiotic culture, bacteria, yeast, health properties

Постановка проблеми. Ферментовані безалкогольні напої є результатом життєдіяльності мікроорганізмів на субстратах рослинного походження. При цьому продукти життєдіяльності культур мікроорганізмів визначають органолептичні, фізико-хімічні та біохімічні властивості отриманого напою, і формують тим самим харчову цінність напою.

У західних країнах більш популярні молочні ферментовані напої [1]. Однак молочні продукти через наявність лактози, казеїну, високий вміст жиру та холестерину несуть ризики для групи населення, яка має непереносимість лактози, казеїну, потребує зниженого вмісту холестерину у продуктах харчування [2]. Тому все більше уваги приділяється технології ферментованих безалкогольних напоїв на рослинній сировині, а найбільшого розповсюдження набули напої, технологія яких передбачає використання молочнокислих бактерій і дріжджів – найбільш поширеної симбіотичної асоціації, яка здатна запускати бродильні процес у різних субстратах [3]. В Україні найбільш поширеними безалкогольними ферментованими напоями були і залишаються популярними сьогодні кваси. Квас – напій, який є продуктом ферментації симбіотичною асоціацією молочнокислих бактерій і дріжджів рослинних субстратів з овочевої, плодово-ягідної, зернової та іншої сировини. На додаток до корисних інгредієнтів рослинних субстратів, таких як вітаміни, антиоксиданти та поліфеноли [4], ці субстрати за рахунок вмісту поживних речовин і цукрів важливих для росту пробіотиків сприяють виживанню і росту пробіотичних мікроорганізмів. У східних народів, де поширеною місцевою культурою є рослини роду *Camellia*, і традиційним напоєм здавна є чай, ферментовані напої готувалися на основі чайного субстрату. Таким напоєм, якій походить із Середньої Азії і сьогодні набуває популярності в Україні, є комбуча – напій, отриманий шляхом ферментації настою чаю за допомогою Symbiotic Culture of Bacteri and Yeast (SCOBY). Комбуча містить біологічно активні речовини, що відіграють певну роль у метаболізмі організму людини, тому актуальним є вивчення потенціалу цього напою, як складової оздоровчого харчування.

Ферментований SCOBY напій чаю містить біологічно активні речовини, що робить доцільним використання цього напою в оздоровчому харчуванні. Вивчення використання SCOBY є актуальним, враховуючи, що на фоні низького рівня здоров'я населення в Україні, скоротилося споживання безалкогольних напоїв бродіння, які завжди традиційно були присутні у раціоні українців. Натомість популярності набули соковмісні газовані напої, газовані напої на ароматизаторах, які за оздоровчими властивостями суттєво поступаються ферментованим напоям.

Вплив чаю на здоров'я людини достатньо вивчений [5, 6]. Чай найдавніший відомий оздоровчий напій. Цей напій має стимулюючі і детоксикаційні властивості у виведенні алкоголю та токсинів, сприяє покращенню кровотоку та сечовипускання, полегшенню болю в суглобах і підвищенню стійкості до хвороб [6].

Ферментація чаю з цукром симбіотичною асоціацією бактерій і дріжджів, яка відома під назвою «чайний гриб», дозволяє отримати інший напій на основі чаю – комбучу – освіжаючий напій зі смаком ігристого яблучного сидру.

Симбіотична культура SCOBY або застаріла назва *Medusomyces gisevii* достатньо вивчена [7–11]. За зовнішнім виглядом SCOBY – це плаваюча целюлозна біоплівка, утворена під час зростання симбіозу мікроорганізмів. Бактеріальна целюлоза SCOBY виробляється оцтовокислими бактеріями під час ферментації субстрату, основними інгредієнтами якого є чай і цукор. Бактеріальна целюлоза SCOBY захищає мікроорганізми, які беруть участь у ферментації, від забруднюючих речовин, таким чином зберігаючи симбіотичну екосистему бактерій і дріжджів, підтримує їх ріст і склад. За рахунок плаваючого стану SCOBY полегшується аерація для аеробних мікроорганізмів. По мірі зростання «чайний гриб» утворює шари нової біоплівки, і ця нова плівка є колонія, яку можна використовувати для розмноження SCOBY. Fontana, J.D. та ін. досліджували стимулятори біосинтезу целюлози [13]. Вони дослідили, що кофеїн і споріднені сполуки (теофілін і теобромін) стимулюють здатність бактерій виробляти целюлозу, що і пояснює утворення SCOBY у чайному розчині. Підвищений вміст кофеїну, як було доведено, пригнічує бродіння «чайного гриба», а не стимулює його [14], тому не усі кофеїновмісні субстрати є придатними для розвитку SCOBY.

У симбіотичній асоціації бактерій і дріжджів основними є *Acetobacter xylinum*. Бактерія *A. xylinum* виробляє оцтову кислоту, глюконову кислоту та целюлозу з джерел вуглецю, таких як етанол і глюкоза. Дріжджовий склад симбіозу дуже мінливий. Найчастіше в досліджуваних зразках ідентифікували дріжджі *Saccharomyces cerevisiae*, *Zygosaccharomyces bailii* та *Brettanomyces bruzellensis*.

Досліджена можливість використання при ферментації настою чаю різних джерел вуглецю. Крім цукрози досліджували вплив альтернативних джерел вуглеводів та їх відповідних концентрацій на процес бродіння, а саме: глюкози, лактози, фруктози. Результати цих досліджень показали, що тип використовуваного моно- або дисахариду впливає на утворення етанолу та молочної кислоти; однак концентрація цукрів не мала значного впливу [15].

Досліджена можливість використання різних трав'яних чаїв і лікарських рослин як субстратів для SCOBY [15]. Результати досліджень показали, що трав'яні чаї, такі як липовий цвіт, ромашка, розмарин і шавлія, є невідповідними субстратами через негативний вплив їхніх летких олій та через наявність антимікробних сполук. Однак комбучу можна належним чином виробляти з використанням м'ятного або чебрецевого чаю, деревію, імбиру, меліси, дубу і листу кропиви [15]. Фрукти та овочі також виявилися потенційними субстратами «чайного гриба». Доведено можливість використання таких сировинних матеріалів, як шпинат, виноградний сік, вишневий сік, бананова шкірка та гранатовий сік. Ці субстрати є корисними з точки зору їх функціональних сполук.

Як правило ферментація SCOBY субстрату триває приблизно 7–14 днів, однак повідомлення, щодо часу тривалості бродіння різняться. Повідомляється про тривалість бродіння до 60 днів [15], також дані про температурні режими бродіння дуже відрізняються за даними різних джерел.

Дослідити тривалість бродіння настою чорного та зеленого чаю до отримання сенсорно прийнятної напою ферментованого симбіотичною культурою бактерій та дріжджів, дослідити фізико-хімічних показників чайного субстрату у процесі ферментації.

Матеріали та методи. Для дослідження використали симбіотичну культуру бактерій і дріжджів масою 250 г. Для приготування субстрату, у який була інокульована культура використовували: воду питну (ДСТУ 7525:2014), цукор (ДСТУ 4623:2023), чорний чай (ДСТУ ISO 3720:2007), зелений чай (ГОСТ 1939-90).

Оптимальним поживним середовищем для культивування SCOBY є 5–10% розчин цукру з настоем чаю [15]. Тому в 1,5 л нагрітої при 100°C питної води вносили 3–4,5 г чаю і 5; 7,5 та 10 мас.% цукру. Отриманий розчин охолоджували до кімнатної температури і вносили симбіотичну культуру бактерій та дріжджів. Субстрат з культурою залишали для ферментації при температурі 23–30°C та наявності доступу денного світла (рис. 1).



Рис. 1. Схема приготування комбучі [15]

Ферментація починається з конверсії дріжджами цукру. Цукор розщеплюється до глюкози і фруктози. Глюкоза ферментується дріжджами до етанолу та вуглекислого газу. Етанол окислюється бактеріями до ацетальдегіду, а потім до оцтової кислоти. Як результат вторинної біохімічної активності *Acetobacter* глюкоза утилізується і перетворюється на глюконову кислоту. Фруктоза залишається у субстраті і використовується мікроорганізмами у меншому ступені. В результаті SCOBY у процесі ферментації цукрового настою чаю виробляє перш за все оцтову кислоту, глюконову кислоту та целюлозу [8].

Ферментували розчини наступних складів: 1,5 л питної води; 3 г та 4,5 г чистого чорного або зеленого чаю без добавок; 5 мас.%, 7,5 мас.% та 10 мас.% цукру. Температура ферментації 25–28°C.

Вміст сухих речовин у субстраті та готовому напої визначали ареометром, pH – потенціометричним способом, прозорість, колір та смак – сенсорно (simple description test) із залученням 5 осіб (ДСТУ ISO6658:2005).

Результати та обговорення. Зовнішній вигляд використаної симбіотичної культури та отримані результати наведені на рис. 2–4. На початку ферментації досліджувані розчини мали коричнево-червоне забарвлення, характерне для настою чорного чаю (рис. 3). На рисунку 4 наведено характер зміни pH настою чорного чаю після інокуляції у нього культури SCOBY для ферментації. При досягненні pH 4,0 розчин набував золотисто-жовтого забарвлення (рис. 3). При pH ~ 4,5 активно починає відбуватися утворення CO₂. На даному етапі крім спиртового бродіння: $C_6H_{12}O_6 = 2C_2H_5OH + 2CO_2$, активно протікає оцтовокисле бродіння: $C_2H_5OH + O_2 = CH_3COOH + H_2O$. Більшість представників роду *Acetobacter* по мірі їх адаптації до кислого середовища окиснюють оцтову кислоту далі: $CH_3COOH + O_2 = 2CO_2 + 2H_2O$. Всі ці біохімічні процеси у субстраті сприяють активному газоутворенню.

Вміст сухих речовин у настої 3 г чорного чаю у 1,5 л води з вмістом цукру 5 мас.%, 7,5 мас.% та 10 мас.% до початку ферментації становив 3,0; 6,0 та 7,0% відповідно. Вміст сухих речовин у напоях отриманих у результаті ферментації настоїв складав 2,0; 4,0 та 5,0% відповідно.

На 5–7 день ферментації, залежно від початкового вмісту цукру у субстраті, pH субстрату знижується до 4,0 (рис. 4). Потім на протязі наступних 4–5 діб значення pH залишається на рівні $4,0 \pm 0,03$. Досягнуте значення pH не дає розвиватися маслянокислим і гнилісним бактеріям, і є сприятливим для розвитку дріжджів, які комфортно почуваються при pH 3–4 [3]. Якщо симбіотичну культуру не вилучити із субстрату, а

продовжити ферментацію далі, то рН поступово починає знижуватись через накопичення оцтової кислоти.



Рис. 2. SCOBY – симбіотична культура бактерій і дріжджів (зовнішній вигляд)



Рис. 3. Колір субстрату до (ліворуч) та після (праворуч)

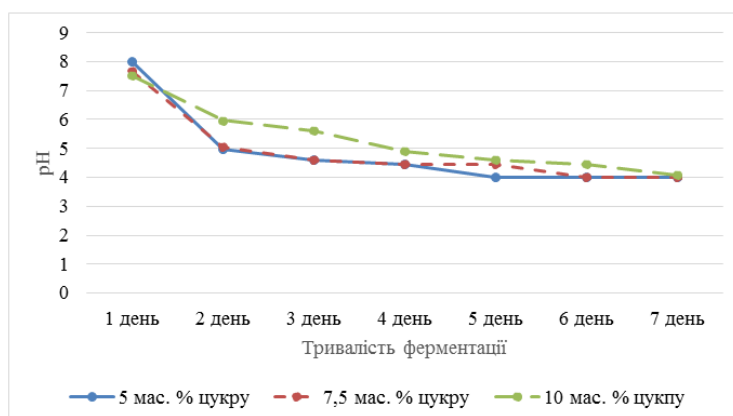


Рис. 4. Зміна рН настою чорного чаю під час ферментації симбіотичною культурою SCOBY

Ферментований SCOBY настій чорного чаю (комбуча) з вмістом 7,5 мас.% цукру, при досягненні рН 4,0 мав найкращі органолептичні показники: був прозорий, золотисто-жовтого кольору, характеризувався кислувато-солодким смаком з помірною різкістю за рахунок накопичення CO₂ і приємною освіжаючою дією. Вміст сухих речовин складав 4%, що є задовільним для напоїв бродіння (ДСТУ 4069:2016).

Далі досліджували вплив кількості доданого чорного чаю для приготування чайного настою для ферментації. Для цього ферментували розчин наступного складу: 1,5 л питної води; 4,5 г чорного чаю; 7,5 мас.% цукру. Температура ферментації 25–28°C.

У цьому випадку ферментований розчин досягав лише на 9 або 10 добу значення рН 4,0, яке далі протягом наступних 5–7 діб вже не знижувалося. При досягненні рН 4,0, напій характеризувався активним виділенням CO₂, вміст сухих речовин був на рівні 4,0±0,5%. Однак напій мав присмак чайної заварки, чим поступався напоєм, отриманому при додаванні меншої кількості чаю.

Для наступного дослідження готували настій зеленого чаю. Враховуючи результати ферментації настою чорного чаю, готували субстрат наступного складу: 1,5 л питної води, 3 г зеленого чаю, 7,5 мас.% цукру. Температура ферментації 25–28°C. Вміст сухих речовин – 5,0%.

За цих умов на 5–7 день ферментації досягалося значення рН 4,0, яке потім не змінювалося протягом наступних 4–5 діб. Готовий напій (комбуча) характеризувався активним газоутворенням, мав приємний освіжаючий кисло-солодкий смак, був прозорим. Колір ферментованого напою не відрізнявся суттєво від кольору настою зеленого чаю до інокуляції у нього SCOBY, як це спостерігалось при ферментації настою чорного чаю, що зумовлено пігментним складом. Пігментами чайного листа є хлорофіл, каротин та ксантофіл, теофлавін, теарубігін. Теофлавін та теарубігін – похідні від чайних поліфенолів. Ці два пігменти утворюються в процесі ферментації чайного листа після збирання. Хімічна структура цих пігментів схожа, але теофлавін є більш хімічно активним, тому легше руйнується і легко переходить у теарубігін. Колір завареного

чорного чаю переважно визначають теарубігіни. Теарубігіни – слабкі кислоти, які у водному розчині дисоціюють на йон H^+ і аніон кислотного залишку. Розчин теарубігінів поглинає світло в синьо-зеленій частині спектра, і тому настій чорного чаю набуває коричнево-червоного відтінку. При додаванні до напою сильнішої кислоти, наприклад оцтової, яка утворюється під час ферментації настою чорного чаю SCOBY, концентрація йонів водню зростає, і завдяки цьому теарубігіни з йонної форми переходять у молекулярну, що зумовлює зміну кольору настою чаю – чай світлішає, набуває золотисто-жовтого забарвлення.

Температурні межі життєдіяльності *Acetobacter* від -6 до $+45^{\circ}C$ для *Saccharomyces* від -4 до $+60^{\circ}C$. Оптимальною температурою для дріжджів є $23-28^{\circ}C$. Оптимальною температурою для оцтовокислих бактерій є $38-40^{\circ}C$. Оскільки ініціація ферментації настою чаю починається дріжджами, які зброджують глюкозу до спирту, то саме ці температурні межі були обрані для проведення ферментації. У літературних джерелах температури бродіння настою чаю сильно відрізняються, проте більшість дослідників проводять ферментацію при температурі $20-30^{\circ}C$. Оскільки оптимальні температури росту дріжджів і бактерій відрізняються, температурний діапазон ферментації може значно впливати на біохімічні реакції, що відбуваються під час бродіння.

При підвищенні температури ферментації досліджуваних субстратів до $28-30^{\circ}C$ час ферментації скорочувався до 4–5 діб. Вже на 4–5 добу спостерігався характерний рівень газоутворення, а рН досягало значення 4,0. При зниженні температури ферментації до $20-23^{\circ}C$ процес ферментації тривав 10–14 діб.

Також, треба зазначити, що маса SCOBY, яка використовується для ферментації, впливає на термін ферментації. При зменшенні маси симбіотичної культури тривалість ферментації збільшувалась.

Перевіряли антиоксидантні властивості взятого для ферментації настою чорного чаю та отриманої комбучі реакцією з 0,1% розчином метиленової сині. Настій чорного чаю і приготований напій на його основі (комбуча) відновлюють метиленову синь. На це вказує зникнення блакитного забарвлення розчину метиленової сині при додаванні до нього чорного чаю або комбучі.

Зростаюча популярність комбучі частково пояснюється властивостями, якими наділяють цей напій, а саме: полегшення депресії та тривоги, профілактика раку, зниження артеріального тиску та холестерину, запобігання випаданню волосся та втраті ваги. Однак багато з цих тверджень ґрунтуються на неофіційних свідченнях, і лише деякі з них можуть бути підтверджені фактичними науковими доказами [15]. З іншого боку, комбуча є продуктом ферментації настою чорного або зеленого чаю. А чай відомий доведеними оздоровчими властивостями [4, 16]. Флаваноли, виділені з листя зеленого, чорного та червоного чаю, мають дуже сильні антиоксидантні властивості, досліджено, що чашка настою з листя чаю є «ін'єкцією антиоксидантів», демонструючи вищу здатність поглинати вільні радикали, ніж вітаміни С і Е [16]. Тому можна стверджувати, що комбуча має загальнооздоровчий ефект на організм людини, оскільки вона має у своєму складі біологічноактивні речовини чаю з доведеним оздоровчим впливом на організм людини. Завдяки ферментації настою чаю, напій набуває кислувато-солодкого смаку, дає освіжаючий ефект при споживанні, що робить цей напій популярним під час спеки, а $pH \leq 4,0$ напою запобігає небезпеці харчових отруєнь при його споживанні.

Висновки. Комбуча – продукт ферментації SCOBY субстрату, основними компонентами якого є цукроза і чорний або зелений чай. Сенсорні та фізико-хімічні характеристики напою залежать від складу субстрату та умов бродіння. Ферментований SCOBY настій чорного чаю (комбуча) з вмістом 7,5 мас.% цукру, при досягненні рН 4,0 мав найкращі органолептичні показники: був прозорий, золотисто-жовтого кольору, характеризувався кислувато-солодким смаком з помірною різкістю за рахунок накопичення CO_2 і приємною освіжаючою дією. Безпечність напою для споживання з точки зору харчових отруєнь гарантується його $pH \leq 4,0$, при якому не розвиваються патогенні мікроорганізми. Однак

виробники та споживачі мають враховувати ризики, такі як зовнішнє біологічне забруднення та вторинне бродіння.

Бібліографія

1. Kandyli P., Pissaridi K., Bekatorou A., Kanellaki M. & A Koutinas A. Dairy and non-dairy probiotic beverages. *Current Opinion in Food Science*. 2016. № 7. P. 58–63. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.11.012>.
2. Prado F. C., Parada J. L., Pandey A., Soccol Carlos R. Trends in non-dairy probiotic beverages. *Food Research International*. 2008. V.41, №2. P.111–123. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.10.010>.
3. Челябієва, В., Буяльська, Н., & Березкина, Н. Мікрофлора борошна як стартер процесів бродіння у харчових технологіях. *Технічні науки та технології*. 2024. Т. 35, № 1. С. 204–211. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1\(35\)-204-211](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1(35)-204-211).
4. Tripathi M. K., Giri S. K. Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. *Journal of Functional Foods*, Volume. 2014. № 9. P. 225–241. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.04.030>.
5. Dufresne C., Farnworth E. Tea, Kombucha, and health: a review. *Food Research International*. 2000. V. 33, № 6. P. 409–421. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00067-3).
6. Balentine D. A., Wiseman S. A., & Bouwens L. C. M. The chemistry of tea flavonoids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 1997. V. 37, № 8. P. 693–704. <https://doi.org/10.1080/10408399709527797>.
7. Raquel Macedo Dantas Coelho, Aryelle Leite de Almeida, Rafael Queiroz Gurgel do Amaral, Robson Nascimento da Mota, Paulo Henrique M. de Sousa. Kombucha: Review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*. 2020. V. 22. P. 100272. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100272>.
8. Greenwalt C. J., Steinkraus K. H., Ledford R. A. Kombucha, the Fermented Tea: Microbiology, Composition, and Claimed Health Effects. *Journal of Food Protection*. 2000. V. 63, № 7. P. 976–981. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-63.7.976>.
9. Chakravorty S., Bhattacharya S., Chatzinotas A., Chakraborty W., Bhattacharya D. & Gachhui R. Kombucha tea fermentation: Microbial and biochemical dynamics. *International Journal of Food Microbiology*. 2016. V.220, №2. P. 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.12.015>.
10. De Roos J., De Vuyst L. Acetic acid bacteria in fermented foods and beverages. *Current Opinion in Biotechnology*. 2018. V. 49. P. 115–119. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2017.08.007>.
11. Fadjar Kurnia Hartati, Dikdik Kurnia, Wirdatun Nafisah, Ifan Bagus Haryanto. Potential anticancer agents of Curcuma aeruginosa-based kombucha: In vitro and in silico study. *Food Chemistry Advances*, 2024. № 4. P.100606, <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100606>.
12. Charoenrak S, Charumanee S, Sirisa-ard P, Bovonsombut S, Kumdhithahutsawakul L, Kiatkarun S, Pathom-Aree W, Chitov T, Bovonsombut S. Nanobacterial Cellulose from Kombucha Fermentation as a Potential Protective Carrier of Lactobacillus plantarum under Simulated Gastrointestinal Tract Conditions. *Polymers*. 2023. V. 15, № 6. P. 1356. <https://doi.org/10.3390/polym15061356>.
13. Fontana J. D., Franco V. C., De Souza S. J., Lyra I. N., De Souza A. M. Nature of plant stimulators in the production of Acetobacter xylinum (“tea fungus”) biofilm used in skin therapy. *Appl Biochem Biotechnol*. 1991. V.28. P. 341–351. <https://doi.org/10.1007/BF02922613>.
14. Greenwalt C.J., Ledford R.A., Steinkraus K.H. Determination and Characterization of the Antimicrobial Activity of the Fermented Tea Kombucha. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie – Food Science and Technology*. 1998. V. 31, №3. P. 291–296, <https://doi.org/10.1006/food.1997.0354>.
15. Nyhan L.M., Lynch K.M., Sahin A.W., Arendt E.K. Advances in Kombucha Tea Fermentation: A Review. *Applied Microbiology*. 2022. V. 2, № 1. P. 73–103. <https://doi.org/10.3390/applmicrobiol2010005>.
16. Gramza A., Korczak J. & Amarowicz R. Tea polyphenols-their antioxidant properties and biological activity-a review. *Polish journal of food and nutrition sciences*. 2005. V.14/55, № 3. P. 219–235.

References

1. Kandyli P., Pissaridi K., Bekatorou A., Kanellaki M., Koutinas A. (2016). Dairy and non-dairy probiotic beverages. *Current Opinion in Food Science*, 7, 58–63. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2015.11.012>.

2. Prado F. C., Parada J. L., Pandey A., Soccol Carlos R. (2008). Trends in non-dairy probiotic beverages. *Food Research International*, 41 (2), 111–123. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.10.010>.
3. Chelyabiyeva, V., Buyal's'ka, N., & Berezky'na, N. (2024). Mikroflora boroshna yak starter procesiv brodinnya u xarchovy'x tekhnologiyax [Microflora of flour as a starter of fermentation processes in food technologies]. *Texnichni nauky` ta tekhnologiyi*, 1 (35, 204–211. [https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1\(35\)-204-211](https://doi.org/10.25140/2411-5363-2024-1(35)-204-211).
4. Tripathi M. K., Giri S. K. (2014). Probiotic functional foods: Survival of probiotics during processing and storage. *Journal of Functional Foods*, Volume, 9, 225–241. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2014.04.030>.
5. Dufresne C., Farnworth E. (2000). Tea, Kombucha, and health: a review. *Food Research International*, 33 (6), 409–421. [https://doi.org/10.1016/S0963-9969\(00\)00067-3](https://doi.org/10.1016/S0963-9969(00)00067-3).
6. Balentine D. A., Wiseman S. A., & Bouwens L. C. M. (1997). The chemistry of tea flavonoids. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 37(8), 693–704. <https://doi.org/10.1080/10408399709527797>.
7. Raquel Macedo Dantas Coelho, Aryelle Leite de Almeida, Rafael Queiroz Gurgel do Amaral, Robson Nascimento da Mota, Paulo Henrique M. de Sousa. (2020). Kombucha: Review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 22, 100272. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2020.100272>.
8. Greenwalt C.J., Steinkraus K.H., Ledford R.A. (2000). Kombucha, the Fermented Tea: Microbiology, Composition, and Claimed Health Effects. *Journal of Food Protection*, 63 (7), 976–981. <https://doi.org/10.4315/0362-028X-63.7.976>.
9. Chakravorty S., Bhattacharya S., Chatzinotas A., Chakraborty W., Bhattacharya D. & Gachhui R. (2016). Kombucha tea fermentation: Microbial and biochemical dynamics. *International Journal of Food Microbiology*, 220 (2), 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.12.015>.
10. De Roos J. & De Vuyst L (2018). Acetic acid bacteria in fermented foods and beverages. *Current Opinion in Biotechnology*, 49, 115–119. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2017.08.007>.
11. Fadjar Kurnia Hartati, Dikdik Kurnia, Wirdatun Nafisah, Ifan Bagus Haryanto. (2024). Potential anticancer agents of Curcuma aeruginosa-based kombucha: In vitro and in silico study. *Food Chemistry Advances*, 4, 100606, <https://doi.org/10.1016/j.focha.2024.100606>.
12. Charoenrak S, Charumanee S, Sirisa-ard P, Bovonsombut S, Kumdhithahutsawakul L, Kiatkarun S, Pathom-Aree W, Chitov T, Bovonsombut S. (2023). Nanobacterial Cellulose from Kombucha Fermentation as a Potential Protective Carrier of Lactobacillus plantarum under Simulated Gastrointestinal Tract Conditions. *Polymers*. 15(6):1356. <https://doi.org/10.3390/polym15061356>.
13. Fontana J. D., Franco V. C., De Souza S. J., Lyra I. N., De Souza A. M. (1991). Nature of plant stimulators in the production of Acetobacter xylinum (“tea fungus”) biofilm used in skin therapy. *Appl Biochem Biotechnol*, 28, 341–351. <https://doi.org/10.1007/BF02922613>.
14. Greenwalt C. J., Ledford R. A., Steinkraus K. H. (1998). Determination and Characterization of the Antimicrobial Activity of the Fermented Tea Kombucha. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie-Food Science and Technology*, 31 (3), 291–296. <https://doi.org/10.1006/fstl.1997.0354>.
15. Nyhan L. M., Lynch K. M., Sahin A. W., Arendt E. K. (2022). Advances in Kombucha Tea Fermentation: A Review. *Applied Microbiology*. 2 (1): 73–103. <https://doi.org/10.3390/applmicrobiol2010005>.
16. Gramza A., Korczak J. & Amarowicz R. (2005). Tea polyphenols-their antioxidant properties and biological activity-a review. *Polish journal of food and nutrition sciences*, 14/55 (3), 219–235.

УДК 663.48-049.7

**РАЦІОНАЛЬНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ПИВОВАРНОГО ВИРОБНИЦТВА
В ХАРЧОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ****Ченурна О. Л.**, аспірантка<https://orcid.org/0000-0003-1498-8745>**Штонда О. А.**, к.т.н., доц.,

доцент кафедри м'ясних, рибних та морепродуктів

<https://orcid.org/0000-0002-7085-6133>

Національний університет біоресурсів і природокористування України, Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-24>

Предмет. Обґрунтування можливості та доцільності застосування побічних продуктів пивоваріння у технології харчових продуктів. Використання відходів пивоварного виробництва в якості вторинної сировини в рецептурі харчових продуктів, зменшує обсяг утворення відходів, знижує собівартість продукції, а також вирішує питання щодо їх раціональної утилізації та вирішення проблеми забруднення навколишнього середовища. Також дає можливість отримати нові продукти з високою харчовою цінністю та біологічною активністю. **Мета.** Дослідити та обґрунтувати раціональне використання відходів пивоварного виробництва в харчовій промисловості як альтернативне джерело білку. **Методи.** Дослідження проводилося шляхом ретельного порівняльного аналізу робіт українських та зарубіжних дослідників, опублікованих у виданнях, що індексуються наукометричними базами Scopus, Web of Science, Journal Citation Reports, Scimago Journal & Country Rank, Google Scholar. **Результати.** Розглянуто питання щодо використання в харчовій промисловості відходів пивоварної промисловості – пивної дробини, білкового відстою та надлишкових дріжджів, які є високобілковими продуктами. Визначено можливість використання пивної дробини в хлібопекарській промисловості при виробництві хліба, печива, в м'ясній галузі в рецептурах копчених ковбас та сосисок. Щодо білкового відстою з'ясовано, що він містить такі важливі речовини, як білки та вуглеводи; однак його застосуванню перешкоджає хмельовий гіркий смак. Для зниження гіркоти в літературі запропоновано проводити водну екстракцію при високій температурі, що в подальшому дозволяє використовувати білковий відстій в харчовій промисловості. Розглянуто питання використання надлишкових пивних дріжджів в харчовій промисловості. Дріжджі являють собою густу масу з характерним дріжджовим запахом до складу яких входять білки, вуглеводи, жири і вітаміни. Відомі технології використання надлишкових дріжджів, після ретельного відмивання в пресованому вигляді, для виготовлення кондитерських та хлібних виробів. **Сфера застосування результатів.** Отриманні результати аналітичного огляду можуть бути використані у подальших наукових дослідженнях, щодо вдосконалення технології переробки відходів пивоварного виробництва.

Ключові слова: пивна дробина, білковий відстій, пивні дріжджі, білки, амінокислоти, утилізація

**RATIONAL USE OF WASTE OF BREWERY PRODUCTION
IN THE FOOD INDUSTRY****Oksana Chepurna**, Postgraduate<https://orcid.org/0000-0003-1498-8745>**Oksana Shtonda**, PhD, Associate Professor,

Associate Professor at the Department of Meat, Fish and Seafoods,

<https://orcid.org/0000-0002-7085-6133>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

Subject. The substantiation of the possibility and expediency of using brewing by-products in technology of food products. The use of brewery industry waste as a secondary raw material in the formulation of food products reduces the volume of waste generation, lowers the cost of production, and also solves the issue of their rational disposal and solving the problem of environmental pollution. It also provides an opportunity to obtain new products with high nutritional value and biological activity. The aim of the work was to investigate and substantiate the rational use of brewing waste in the food industry

as an alternative source of protein. **Methods.** The research was carried out through a thorough comparative analyzing the works of Ukrainian and foreign researchers published in the scientific and metric databases Scopus, Web of Science, Journal Citation Reports, Scimago Journal & Country Rank, and Google Scholar. **Results.** The issue of using brewing waste in the food industry - beer grains, protein sediment and excess yeast, which are high-protein products - is considered. The possibility of using brewers pellet in the bakery industry in the production of bread, cookies, in the meat industry in the recipes of smoked sausages and sausages has been determined. About the protein precipitate, it has been found that it contains such important substances as proteins and carbohydrates; however, its use is hindered by the bitter, hops taste. For order to reduce bitterness, had been suggested in the literature to carry out aqueous extraction at a high temperature, which in the future allows the use of protein precipitate in the food industry. The issue of using excess brewer's yeast in the food industry is considered. Yeast is a thick mass with a characteristic yeast smell, which includes proteins, carbohydrates, fats and vitamins. There are well-known technologies for using excess yeast, after thorough washing in a pressed form, for the production of confectionery and bakery products. **Scope of the results.** The obtained results of the analytical review can be used in further scientific research to improve the technology of brewery waste processing.

Key words: brewers pellet, protein precipitate, brewer's yeast, proteins, amino acids, utilization

Постановка проблеми. Пивоварна галузь останнім часом стрімко розвивається в Україні. З підприємств великої потужності реформуються невеликі пивоварні, як самостійні структури так і на базі ресторанів, кафе. Це дає можливість розширювати асортимент пива, розробляти крафтові рецептури.

Пиво – це слабоалкогольний напій з хмелевим ароматом і приємним гірким присмаком, який користується попитом у широких верст населення. Технологія пива доволі складна та енергозатратна і характеризується великою кількістю різноманітних процесів, які можна об'єднати в наступні стадії: підготовка сировини, приготування пивного суслу, зброджування пивного суслу, стабілізація готового пива. На кожному етапі утворюються побічні продукти, які потребують утилізації.

Нераціональне їх використання може привести до екологічного забруднення навколишнього середовища, тому останнім часом все більше науковців намагаються знайти нові способи їх застосування, які змінять традиційний підхід до відходів і зроблять їх побічними продуктами [1]. Переважну кількість вторинних продуктів, які утворюються на пивоварних підприємствах відправляють в комбікормові виробництва, де їх переробляють на корм тваринам. Але за результатами досліджень відомо, що пивна дробина, білковий відстій, залишкові дріжджі багаті цінними сполуками та поживними речовинами. Це ключові фактори для розробки різних рецептур, де вони можуть застосовуватися в якості сировини, при отриманні продуктів харчування [2].

Завдяки своїм властивостям відходи пивоваріння мають потенціал для розширення асортименту продуктів, але їх використання все ще дуже обмежене [3].

Мета роботи дослідити та визначити сучасний стан в утилізації побічних продуктів пивоваріння, способи їх переробки та можливість використання в харчовій промисловості як альтернативне джерело білку.

Методи дослідження. В статті був проведений літературний огляд наукових праць які індексуються в наукометричних базах України та світу, зокрема: Scopus, Web of Science, Journal Citation Reports, та інші.

Результати та обговорення. Основним відходом пивоварної галузі є пивна дробина, яку отримують на стадії фільтрації суслу. Більшу частину реалізують, переважно, в сирому вигляді, але враховуючи обмежений термін зберігання, останнім часом, все більше підприємств в Україні впроваджують стадію сушки. В Європейських країнах пивоварні мають цеха і обладнання для утилізації дробини, де її висушують, так як вона вважається вторинним продуктом і використовується, як сировина, в харчовій промисловості [2].

За хімічним складом пивна дробина має високу харчову та біологічну цінність, є джерелом клітковини, мінеральних речовин, вітамінів, протеїнів.

Склад пивної дробини наведений в таблиці 1 [2].

Таблиця 1

Склад пивної дробини

Дробина	Вміст, %					
	вода	білок	безазотні речовини	жир	клітковина	зола
Сира	75,0	5,0	11,0	2,0	6,0	1,0
Висушена	10,5	19,0	38,0	7,5	18,0	7,0

Завдяки вмісту білків, до складу яких входить близько 30% незамінних амінокислот пивна дробина сприятливо впливає на організм людини [1]. Наприклад лізин досить важливий, тому що він приймає участь у синтезі білків, стимулює імунну систему, а лейцин сприяє підтримки стабільного вмісту цукру в крові. Амінокислотний склад наведений в таблиці 2 (у % від маси білкових речовин) [2, 3].

Таблиця 2

Амінокислотний склад пивної дробини, %

№	Показник	Кількість
1	лізин	0,86
2	гистидин	0,66
3	аргінін	1,07
4	аспарагінова кислота	1,35
5	треонин	0,77
6	серін	0,89
7	глутамінова кислота	4,57
8	пролін	2,05
9	гліцин	0,79
10	аланін	0,94
11	цистин	0,46
12	валін	1,06
13	метіонін	0,5
14	ізолейцин	0,79
15	лейцин	0,57
16	тирозин	0,61
17	фенілаланін	1,23
18	триптофан	0,14
19	всього амінокислот	19,31
20	у тому числі незамінних амінокислот	7,65

В пивоварному ячмені білкові речовини знаходяться виключно у формі протеїдів.

Там, де відбуваються складні процеси, білки розщеплюються ферментами утворюючи низькомолекулярні сполуки, які в процесі пророщування частково витрачаються на утворення нових тканин, листового і кореневого ростка.

Сушіння солоду супроводжується загибеллю зародку зерна, але ферменти при цьому зберігаються і продовжують свою активну дію на білок під час затирання.

Гідроліз білків під час затирання має дуже важливе значення, приблизно 15% загальної кількості білків переходить до розчину під дією пептидаз при затиранні. 85% білків при кип'ятінні коагулює. Це нативні, розчинні у воді білки й високомолекулярні фракції, що утворюються внаслідок ферментативного гідролізу [13].

Вони дуже чутливі до всіх фізико-хімічних впливів, за яких змінюються їх колоїдна рівновага і властивості. Відомо дві стадії коагуляції:

- перша стадія – денатурація білків, молекули переходять із ліофільного стану у ліофобний, мають вигляд дрібної суспензії;

- друга стадія – відбувається укрупнення дегідратованих міцел, тобто, коагуляція.

Отже, всі білки і їх фракції, що переходять із солоду у розчин, при затиранні складають «розчинні білки», частина з яких становить «коагулюючі білки», а інша частина, білки які не коагулюють: поліпептиди, пептиди й амінокислоти. Кількість їх, що утворюється при солододороженні і затиранні майже однакова. Частина білкових речовин, яка не піддається перетворенням ні при солододороженні, ні при приготуванні затору, переходить у пивну дробину. Кількість їх складає 75% від початкової кількості білка в зерні [13].

Завдяки своїм властивостям та вмісту важливих азотовмісних поживних речовин пивна дробина використовується в якості біологічно активної добавки в харчових

продуктах [4]. Ряд досліджень показало, що вона може успішно додаватися до борошна, при виробництві хліба, вафель, печива, сухих сніданків, макаронів, млинців або коржиків.

Отриманні результати показали, що додавання дробини до хліба з пшеничного борошна збільшує кількість клітковини, змінює жирність продукту, збільшує водоутримуючу здатність і консистенцію продуктів, надає продукту більш солодкий смак [5, 6].

В Румунії досить розвинута м'ясопереробна галузь, особливою популярністю користуються копчені ковбаси, тому актуальним питанням є розширення асортименту копчених ковбас шляхом використання рослинної сировини, багатой на білок. З цією метою проводили дослідження, щодо розроблення технології ковбас копчених з пивною дробиною. Отримали дещо покращену структуру фаршу за фізико-хімічними показниками, оскільки білки підвищують водозв'язуючу здатність за рахунок утримання води. За органолептичними показниками суттєвих змін не спостерігалось [1].

Також відомі дослідження, щодо можливості використання пивної дробини в комплексі з грибами *Agaricus bisporus* як заміників м'яса в копчених ковбасах. Отримані зразки мали доволі високий вміст білка [1].

В роботі Saraiva [7] розглянуто використання пивної дробини у технології сосисок.

Для досліду готували борошно з різним ступенем подрібнення: дрібне – 212 мкм, середнє – 212–425 мкм, та грубе – 425–850 мкм, яке додавали у різних співвідношеннях до фаршу. Отримані данні свідчать, що у сосисках значно збільшився загальний вміст харчових волокон, покращилась структура фаршу.

Основний показник якості м'ясних продуктів – це здатність утримувати вологу.

Відомо, що цей показник залежить від білків – міозину, актину й актоміозину, волога зв'язується за допомогою заряджених ($-\text{NH}_3$, $-\text{COO}^-$) і незаряджених ($-\text{SH}$, $-\text{NH}$, $-\text{OH}$, $-\text{O}-\text{NH}$) груп [11]. Всі форми зв'язку води з білками поділяють на три великі групи: гідратаційна, іммобілізована і вільна вода. Гідратаційна волога, на відміну від іммобілізованої і вільної, міцно утримується молекулярним силовим полем тому не впливає на зміцнення волого утримуючої здатності [11]. Також на зменшення вологоутримуючої здатності білків впливає підвищення температури всередині продукту і тривалості теплової дії [12].

Одним із перспективних напрямків збільшення вологоутримуючої здатності у м'ясних виробках є додавання пивної дробини в якості білкововмісної сировини.

На основі проведених досліджень було визначено, що додавання пивної дробини не має негативного впливу на органолептичні характеристики та фізико-хімічні показники якості м'ясних продуктів; більше того, він посилює корисні для здоров'я властивості харчових продуктів [1,8].

Наступним відходом пивоваріння є білковий відстій, який отримують при охолодженні і освітленні пивного сусла, він переважно має білково-дубильний комплекс, який утворився під час кип'ятіння сусла з хмелем. На пивоварному виробництві з 100 кг засипку солоду отримують 2–3 кг білкового осаду вологістю 80%. Склад сухих речовин білкового відстою наступний: водорозчинні екстрактивні речовини – 38%, білкові речовини – 35%, клітковина – 6%, мінеральних речовин – 4%. За хімічним складом відстій міг би використовуватися, як добавка до харчових продуктів, але завдяки гіркому смаку, який обумовлений наявністю хмелевих гірких кислот, смол, дубильних речовин, які частково перейшли в осад, використання його доволі обмежене [2]. Відомий спосіб використання білкового відстою безпосередньо на пивоварних заводах, для приготування пивного сусла [13]. Його повертають в заторний апарат перед кип'ятінням відварки для збільшення набору готового сусла за рахунок екстрактивних речовин, які містяться у відстої.

Враховуючи, що білковий відстій має досить сильну хмелеву гіркоту, виникає необхідність розробити та застосувати нові процеси, які її зменшать. Робота Saraiva [7]

була спрямована на зменшення вмісту гірких речовин у відстою, зберігаючи або покращуючи його поживні та функціональні властивості, для подальшого використання його в їжі.

Гіркі речовини відділяли від білка екстрагуванням. Воду додавали до відстою, перемішували і нагрівали до 100 °С. Процес екстракції гірких речовин з білкового відстою змінив його склад, структуру та функціональність. Вміст білка був сконцентрований, а гіркота була зменшена [7]. В результаті білковий відстій зі зміненим складом і функціональністю можуть використовувати в харчовій промисловості для збагачення продуктів рослинним білком [7].

І останній, не менш важливий, побічний продукт пивоваріння – це залишкові пивні дріжджі. Вони представляють собою високоякісний харчовий продукт. До складу дріжджів входять білки, жири, вітаміни групи В, Н, Е і D [2]. Завдяки високому вмісту вітамінів залишкові дріжджі використовують в лікувальних цілях для покращення обміну речовин та як радикальний засіб для лікування фурункульозу.

Важливі і такі компоненти дріжджів, як лецитин, холін і глутатіон.

Лецитин і холін необхідні для нормального функціонування нервової системи, глутатіон є каталізатором окисно-відновних процесів в організмі.

Недоліком пивних дріжджів є те що вони мають досить сильну хмелеву гіркоту, що суттєво впливає на органолептику. Для видалення гіркоти пивні дріжджі промивають і висушують. Таким чином з 1,2 кг отримують 0,15 кг сухої речовини.

До складу сухих пивних дріжджів входить понад 50% білків. 1 кг сухих дріжджів містить в 2,5 рази більше білка ніж яловичина.

Дріжджі мають в своєму складі речовини, які в середньому на 85% засвоюються живим організмом, а саме білки – на 90%, жири – на 70%, вуглеводи – майже повністю. Амінокислотний склад пивних дріжджів представлений у таблиці 3 (у% від маси білкових речовин клітини) [3,9,10,13].

Таблиця 3

Амінокислотний склад дріжджів, %

№	Показник	Кількість
1	лізин	7,3
2	гістидин	2,6
3	аргінін	4,7
4	аспарагінова кислота	7,9
5	треонін	5,5
6	серин	5,0
7	глутамінова кислота	10,8
8	пролін	4,2
9	гліцин	4,1
10	аланін	6,1
11	цистин	1,2
12	валін	5,7
13	метіонін	1,5
14	ізолейцин	4,8
15	лейцин	6,8
16	тирозин	4,4
17	фенілаланін	3,5
18	триптофан	1,4
19	всього амінокислот	87,5
20	у тому числі незамінних амінокислот	43,8

Таким чином, надлишкові дріжджі за амінокислотним складом мають високу харчову цінність і їх реалізують в комбікормові виробництва [2]. Одним з напрямків використання дріжджів є можливість їх додавати до веганських тортів, що призводить до більш високого вмісту білка, ліпідів і вуглеводів [9]. Згідно з іншими дослідженнями, були проведені експерименти, в яких відпрацьовані сухі дріжджі додавалися як інгредієнт у домашній хліб. Це призвело до збільшення споживання β-глюкану [10]. Відомо, що β-глюкан – це сильний антиоксидант, який нейтралізує вільні радикали. Виконує роль імунного модулятора, тим самим, підвищує опір організму по відношенні до вірусів, патогенних бактерій та різних канцерогенів.

Відома технологія використання залишкових пивних дріжджів як добавку в процесі виробництва хліба для збереження свіжості хліба.

Пивні дріжджі також використовують в якості приправ в м'ясній промисловості.

Проаналізувавши якісний склад відходів пивоварної галузі визначили доцільність використання їх в харчовій промисловості. Це надасть можливість не тільки вирішити екологічну проблему, щодо утилізації відходів, але і збагатити продукти джерелом білків, мінералів, жирних кислот, клітковини та біоактивних речовин, які можуть запобігти розлади, пов'язані з харчуванням, і покращують фізичний і психічний стан споживачів.

Висновки. Враховуючи те, що основним джерелом рослинного білка в харчовій промисловості є високоякісні продукти з високою собівартістю виробництва, запропоновано використання відходів пивоваріння, що забезпечить збереження навколишнього середовища та зниження собівартості продукції.

Рослинний білок є багатообіцяючою альтернативою тваринним білкам у щоденному раціоні, завдяки своїй унікальній придатності, широкій доступності та біодоступності.

Бібліографія

1. Nagy M, Semeniuc CA, Socaci SA, Pop CA, Rotar AM, Salagean CD, Tofana M. Utilization of brewer's spent grain and mushrooms in fortification of smoked sausages. *Food Science and Technology*. 2017;37:315–320. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457x.23816>.
2. Сухенко Ю. Г., Серьогін О. О., Сухенко В. Ю., Рябоконт Н. В. Ресурсозберігаючі технології в харчових і переробних виробництвах: [Підручник] / За ред. проф. О.О.Серьогіна. К.: ЦП «КОМПРИНТ», 2016. 338 с.
3. Fa'rcaş A., Socaci S., Mudura E., Dulf F., Vodnar D., Tofana M., Salanta L. C. Exploitation of brewing industry wastes to produce functional ingredients. In: *Brewing technology*. Budapest: Makoto Kanauchi, IntechOpen. 2017. <https://www.intechopen.com/chapters/55749>.
4. Rachwał, K.; Waśko, A.; Gustaw, K.; Polak-Berecka, M. Utilization of Brewery Wastes in Food Industry. *PeerJ*. 2020, 8. <https://doi.org/10.7717/peerj.9427>.
5. Cappa, C. Brewer's Spent Grain Valorization in Fiber-Enriched Fresh Egg Pasta Production: Modelling and Optimization Study. *Food Sci. Technol*. 2017, 82, 464–470. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.068>.
6. Combet, S.; Warren, C. Perceptions of College Students in Consuming Whole Grain Foods Made with Brewers' Spent Grain. *Food Sci. Nutr*. 2019, 7, 225–237.
7. Saraiva BR, Anjo FA, Vital ACP et al (2019) Waste from brewing (trub) as a source of protein for the food industry. *Int J Food Sci Technol* 54:1247–1255. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14101>.
8. Choi, M.S.; Choi, Y.S.; Kim, H.W.; Hwang, K.E.; Song, D.H.; Lee, S.Y.; Kim, C.J. Effects of Replacing Pork Back Fat with Brewer's Spent Grain Dietary Fiber on Quality Characteristics of Reduced-Fat Chicken Sausages. *Food Sci. Anim. Resour*. 2014, 34, 158–165.
9. Coldea, T.E.; Mudura, E.; Rotar, A.M.; Cuibus, L.; Pop, C.R.; Darab, C. Brewer's Spent Yeast Exploitation in Food Industry. *Hop Med. Plants* 2017, 25, 94–99.
10. Martins, Z.E.; Erben, M.; Gallardo, A.E.; Silva, R.; Barbosa, I.; Pinho, O.; Effect of Spent Yeast Fortification on Physical Parameters, Volatiles and Sensorial Characteristics of Home-Made Bread. *Int. J. Food. Sci. Technol*. 2015, 50, 1855–1863. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3107-0>.
11. Інноваційні технології харчової продукції функціонального призначення: монографія у 2 ч. Ч. 2 / О. І. Черевко, М. І. Пересічний, С. М. Пересічна [та ін.]; за ред. О. І. Черевка, М. І. Пересічного. 4-те вид., переробл. та допов. Х.: ХДУХТ, 2017. 591 с.
12. Дідух Н. А., Чагаровський О. П., Лисогор Т. А. Заквашувальні композиції для виробництва молочних продуктів функціонального призначення. Одеса: Поліграф, 2008. 236 с.
13. Колотуша П. В. Технологія виробництва пива. Навч. посібник. К.: ІСДО, 1996. 228 с.

References

1. Nagy, M, Semeniuc, CA, Socaci, SA, Pop, CA, Rotar, AM, Salagean, CD, Tofana M. (2017). Utilization of brewer's spent grain and mushrooms in fortification of smoked sausages. *Food Science and Technology*. 7;37:315–320. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457x.23816>.
2. Sukhenko, Yu. H., Serohin, O. O., Sukhenko, V. Yu., Riabokon, N. V. (2016). *Resursozberihaiuchi tekhnolohii v kharchovykh i pererobnykh vyrobnytstvakh* (Resource-Saving Technologies in Food and Food Processing Industries): [Manual] / Ed. by prof. O.O.Serohina. Kyiv : TsP «KOMPRYNТ». 338 p. [in Ukrainian].

3. Fařcas, A., Socaci, S., Mudura E., Dulf, F., Vodnar, D., Tofana, M., Salanta, L. C. (2017). Exploitation of brewing industry wastes to produce functional ingredients. In: *Brewing technology*. Budapest: Makoto Kanauchi, IntechOpen. <https://www.intechopen.com/chapters/55749>.
4. Rachwał, K.; Wařko, A.; Gustaw, K.; Polak-Berecka, M. (2020). Utilization of Brewery Wastes in Food Industry. *PeerJ*, 8. <https://doi.org/10.7717/peerj.9427>.
5. Cappa, C. (2017). Brewer's Spent Grain Valorization in Fiber-Enriched Fresh Egg Pasta Production: Modelling and Optimization Study. *Food Sci. Technol.* 82, 464–470. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.04.068>.
6. Combest, S.; Warren, C. (2019). Perceptions of College Students in Consuming Whole Grain Foods Made with Brewers' Spent Grain. *Food Sci. Nutr.* 7, 225–237.
7. Saraiva, BR, Anjo, FA, Vital, ACP et al (2019). Waste from brewing (trub) as a source of protein for the food industry. *Int J Food Sci Technol* 54:1247–1255. <https://doi.org/10.1111/ijfs.14101>.
8. Choi, M. S.; Choi, Y. S.; Kim, H. W.; Hwang, K. E.; Song, D. H.; Lee, S. Y.; Kim, C. J. (2014). Effects of Replacing Pork Back Fat with Brewer's Spent Grain Dietary Fiber on Quality Characteristics of Reduced-Fat Chicken Sausages. *Food Sci. Anim. Resour.* 34, 158–165.
9. Coldea, T. E.; Mudura, E.; Rotar, A. M.; Cuibus, L.; Pop, C. R.; Darab, C. (2017). Brewer's Spent Yeast Exploitation in Food Industry. *Hop Med. Plants*, 25, 94–99.
10. Martins, Z.E.; Erben, M.; Gallardo, A.E.; Silva, R.; Barbosa, I.; Pinho, O. (2015). Effect of Spent Yeast Fortification on Physical Parameters, Volatiles and Sensorial Characteristics of Home-Made Bread. *Int. J. Food. Sci. Technol.*, 50, 1855–1863. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3107-0>.
11. Innovatsiini tekhnolohii kharchovoi produktsii funktsionalnoho pryznachennia (Innovative Technologies for Functional Food Products): Monograph in 2 volumes. Vol. 2 / O. I. Cherevko, M. I. Peresichnyi, S. M. Peresichna [et al.]; Ed. by O. I. Cherevko, M. I. Peresichnyi. – 4th edition., supplemented and corrected. Kharkiv : KhDUKht, 2017. 591 p. [in Ukrainian].
12. Didukh, N. A., Chaharovskiy O. P., Lysohor T. A. (2008). *Zakvashuvalni kompozytsii dlia vyrobnytstva molochnykh produktiv funktsionalnoho pryznachennia* (Leavening Compositions to Produce Functional Dairy Products). Odesa : Polihraph, 236 p. [in Ukrainian].
13. *Tekhnolohiia vyrobnytstva pyva* (Beer Production Technology): Tutorial. P. V. Kolotusha. Kyiv : ISDO, 1996. 228 p. [in Ukrainian].

УДК 578.81/637.33

БЕЗПЕЧНІСТЬ І ЯКІСТЬ СИРУ: ФАГИ МОЛОЧНОКИСЛИХ БАКТЕРІЙ*Шугай М. О., к.б.н, с.н.с.*<https://orcid.org/0000-0003-1844-5967>

Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-25>

Предмет. Промислове виробництво молочних ферментованих продуктів неминує стикається з проблемами порушень ферментації, спричиненими бактеріальними вірусами – бактеріофагами (або фагами), активними до заквашувальних культур. Найбільшою шкоди фаги завдають сироварінню, що пов'язано з особливостями отримання сиру і біології цих вірусів. У статті проведено аналіз сучасної літератури, присвяченої проблемі запобігання порушень ферментації під час виробництва сиру. Предметом досліджень були сучасні дані щодо особливостей біології фагів молочнокислих бактерій (МКБ) та їх співіснування з бактеріями-хазяями; інформація щодо джерел фагового забруднення виробництва, впливу технологічних операцій під час виробки сиру на репродукцію і накопичення фагів, методів їх виявлення та розробки нових підходів фагового контролю на виробництві. **Мета.** Аналітичний огляд сучасної наукової інформації щодо особливостей біології фагів МКБ та їх співіснування з бактеріями-хазяями, а також підходів фагового контролю на виробництві. **Методи.** Використали аналітичний метод, аналізували інформацію з баз даних: PubMed, Scopus, Web of Sciences, скористались результатами власних досліджень. **Результати.** Основним джерелом надходження фагів на виробництво є сире молоко, в якому вони можуть перебувати у вигляді віріонів або профагів у геномах бактерій-хазяїв. Через наявність та велику різноманітність фагів у природних екосистемах сирого молока, запобігти їх потраплянню та забезпечити відсутність фагів на виробництві практично неможливо. Оскільки наявність фагів у середовищі молочних заводів є неминучою, зусилля дослідників спрямовані на розробку ефективних механізмів фагового контролю, а не на повну елімінацію вірусів. Сучасні методи фагового контролю на виробництві включають: використання заквасок прямого внесення, що містять фагостійкі фагонеспоріднені штами МКБ, запровадження ротаційних схем заквашувальних препаратів, проведення фагового моніторингу, запобігання утворенню аерозолів та кондиціонування повітря, ретельне очищення місць отримання сироватки та резервуарів для її зберігання, дотримання вимог санітарії і гігієни, використання дезінфектантів з антифаговою дією. Наявність різноманітних джерел фагового забруднення у поєднанні з високою генетичною гнучкістю фагів робить ці віруси перманентною проблемою виробництва молочних ферментованих продуктів, яка вимагає постійного моніторингу та проведення досліджень для розробки нових підходів до фагового контролю, а також розробки нових технологій вилучення фагів із сировини, побічних продуктів виробництва, повітря й обладнання. **Сфера застосування результатів.** Сироробні та молокопереробні підприємства.

Ключові слова: бактеріофаги, молочнокислі бактерії, сироваріння, фаголізис, ферментація

CHEESE SAFETY AND QUALITY: PHAGES OF LACTIC ACID BACTERIA*Myroslava Shugai, PhD, Biology, Sen. Researcher*<https://orcid.org/0000-0003-1844-5967>

Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

Subject. The industrial production of dairy fermented products inevitably faces the problems of fermentation disorders caused by bacterial viruses - bacteriophages (or phages) active on fermenting cultures. Phages cause the greatest damage to cheesemaking, which is related to the peculiarities of cheese production and the biology of these viruses. The article analyzes modern literature devoted to the problem of prevention of fermentation disorders during cheese production. The subject of the research was modern data on the peculiarities of the biology of phages of lactic acid bacteria (LAB) and their coexistence with host bacteria; information on the sources of phage contamination of production, the influence of technological operations during cheese production on the reproduction and accumulation of phages, methods of their detection and the development of new approaches to phage control in

production. **Purpose.** Analytical review of current scientific information on the biology of MCD phages and their coexistence with host bacteria, as well as approaches to phage control in production. **Methods.** We used an analytical method, analyzed information from databases: PubMed, Scopus, Web of Sciences, and used the results of our own research. **Results.** The main source of phages for production is raw milk, in which they can be in the form of virions or prophages in the genomes of host bacteria. Due to the presence and great diversity of phages in the natural ecosystems of raw milk, it is almost impossible to prevent their entry and ensure the absence of phages in production. Since the presence of phages in the environment of dairy plants is inevitable, the efforts of researchers are directed to the development of effective phage control mechanisms, rather than to the complete elimination of viruses. Modern methods of phage control in production include: the use of direct application starters containing phage-resistant phage-unmatched strains of the LAB, the introduction of rotation schemes of leavening preparations, conducting phage monitoring, prevention of aerosol formation and air conditioning, thorough cleaning of places where serum is obtained and tanks for its storage, compliance with requirements sanitation and hygiene, use of disinfectants with antiphage action. The presence of various sources of phage contamination combined with the high genetic flexibility of phages makes these viruses a permanent problem in the production of fermented dairy products, which requires constant monitoring and research to develop new approaches to phage control, as well as the development of new technologies for extracting phages from raw materials, production by-products, air, and equipment. **Scope of research result.** Cheese and dairy factories.

Key words: bacteriophages, lactic acid bacteria, cheese making, phagolysis, fermentation

Постановка проблеми. Відколи сироваріння стало потужною складовою молокопереробної галузі, виробники стикнулися з проблемами порушень ферментації, причину яких тривалий час встановити не вдавалось. Загадковим було те, що в молоці, отриманому від здорових корів, закваска з високоактивних культур МКБ, яка використовувалась щодня протягом тижнів і навіть місяців, несподівано знижувала чи припиняла кислотоутворення. Лише 1935 року Whitehead and Cox з Новозеландського Інституту молока з'ясували, що причиною порушення ферментації молока є вірулентні фаги, які здатні спричиняти лізис штамів закваски [1]. З того часу бактеріофаги залишаються серйозною проблемою виробництва молочних ферментованих продуктів, особливо сиру [2, 3, 4]. Причини такої ситуації слід шукати в особливостях виробництва та біологічних властивостях бактеріофагів.

Мета роботи – аналітичний огляд сучасної наукової інформації щодо особливостей біології фагів МКБ та їх співіснування з бактеріями-хазяями, а також підходів фагового контролю на виробництві.

Методи дослідження. Під час роботи здійснювали пошук, систематизацію та узагальнення наукової інформації, використали аналітичний метод. Аналізували інформацію з доступних баз даних: PubMed, Scopus, Web of Sciences, скористались результатами власних досліджень. Предмет досліджень – сучасні дані щодо особливостей біології фагів МКБ та їх співіснування з бактеріями-хазяями; інформація щодо джерел фагового забруднення виробництва, впливу технологічних операцій під час виробки сиру на репродукцію і накопичення фагів, методів їх виявлення та підходів фагового контролю на виробництві.

Результати та їх обговорення. Відомо, що визрівання сичужних сирів – процес біологічний і обумовлений життєдіяльністю мікрофлори закваски. Динаміка та кінцевий результат ферментації залежать від багатьох факторів, у тому числі від якості молока-сировини, біологічних особливостей культур закваски, режимів технологічного процесу та фізико-хімічних умов під час виробки, соління і визрівання сиру.

Фаги всюдисущі, вони відрізняються геномами та структурою віріонів і завжди наявні там, де є бактерії-хазяї. Як і всі віруси фаги не здатні до самостійної репродукції і розмножуються лише в живих клітинах чутливих хазяїв, використовуючи їх біосинтетичний апарат. За оцінками науковців чисельність фагів у біосфері на порядок перевищує чисельність бактерій і становить приблизно 10^{31} фагових часток [5].

Вважається, що в природі бактеріофаги формують таксономічний і функціональний склад мікробних спільнот, а також їх чисельність і стабільність [6].

За умов нестерильного виробництва фаги неминуче потрапляють у заводське середовище через сире молоко чи інші інгредієнти і зазвичай наявні у повітрі чи на молочному обладнанні [3, 4]. Основним і перманентним джерелом надходження фагів на виробництво є сире молоко. У молоці наявні різноманітні бактерії, у тому числі МКБ та їх фаги, що можуть перебувати у вигляді віріонів або профагів у геномах бактерій-хазяїв. За даними дослідників концентрація фагових часток у сирому молоці коливається в межах ($10^1 \div 10^4$) БУО/см³. Відомо також, що лактофаги мають високу термостійкість і здатні вижити за режимів пастеризації молока, прийнятих для виробництва сиру і кисломолочних продуктів [7, 8, 9]. Таким чином, фаги легко потрапляють на виробництво і якщо для ферментації використовують чутливі до них штами лактобактерій, фаги швидко накопичуються, досягаючи критично високого титру – до 10^9 вірусних часток у см³ підсирної сироватки [9]. Отже, через наявність та велику різноманітність фагів у природних екосистемах сирого молока, запобігти їх потраплянню та забезпечити відсутність фагів на виробництві практично неможливо.

Хоча основним джерелом фагового забруднення виробництва є сире молоко, дослідники звертають увагу на важливість заходів щодо запобігання розповсюдження вірусної інфекції у промисловому середовищі. Поширення фагових часток може відбуватись у вигляді аерозолі внаслідок розбризкування сироватки, переміщення персоналу або транспортування обладнання, особливо якщо воно здійснюється між забрудненою і незабрудненою зонами. Такі біоаерозолі можуть триматись у повітрі упродовж тривалого часу [6]. Зокрема, під час виробки сиру у повітрі різних зон заводу були виявлені фаги титру від 10^2 БУО/м³ до 10^8 БУО/м³ [10].

Додатковими і часто недооцінюваними джерелами фагового забруднення є робочі поверхні приміщень виробництва: підлога, стіни, обладнання, сходи, дверні ручки, офісні столи. Джерелом вірусної інфекції можуть бути додаткові інгредієнти, зокрема, концентрати сироваткових білків, які вносять з метою збільшення виходу цільового продукту, поліпшення його органолептичних показників та біологічної цінності. Річ у тім, що сироватка, з якої готують білкові концентрати, містить фаги, а компоненти сироватки такі як солі, білки, жир та сахариди сприяють термостійкості фагів, захищаючи їх від термічного пошкодження [11]. Для мінімізації проблем рекомендовано додавати підсирну сироватку лише у випадку якщо для ферментації використовують суттєво інші закваски ніж ті, за допомогою яких було отримано сироватку.

Також важливо відмітити, що сироваткові продукти, отримані з використанням природних заквасок (невідомого видового складу), не варто залучати до виробництва продуктів, ферментування яких відбувається визначеними культурами (відомого складу), оскільки природні закваски часто містять фаги, що становлять серйозну небезпеку для обмеженої кількості штамів визначених заквасок [12].

Не слід виключати ймовірність потрапляння бактеріофагів на виробництво через закваски, де вони можуть перебувати у вірулентній формі – прикріпленими до оболонки бактеріальних клітин, або у стані хронічної інфекції – у вигляді профагів, інтегрованих в геном бактерії-хазяїна [13]. Геноми лактобактерій, можуть містити один чи декілька профагів [14, 15]. Тип взаємодії бактерії з фагом, за якого фаг перебуває в геномі бактерії у стані профага (фагової ДНК) отримав назву лізогенія. Лізогенія дуже поширена серед лактококів та лактобацил і з меншою частотою зустрічається серед штамів *Streptococcus thermophilus*. У лізогенній клітині геном профага реплікується *in situ* разом з геномом бактерії-хазяїна. Однак за певних умов, залежно від стану живлення інфікованої клітини та множинності вірусної інфекції, профаги можуть переходити у вірулентний стан (рис.1).

Індукція профага з бактеріальної хромосоми та його перехід його до літичного життєвого циклу часто відбувається за умов стресу для бактеріальної клітини,

спричиненого зміною температури чи концентрації солей, бактеріоцинами, ультрафіолетовим випромінюванням, голодуванням, або спонтанно з частотою до 9% [16, 17].

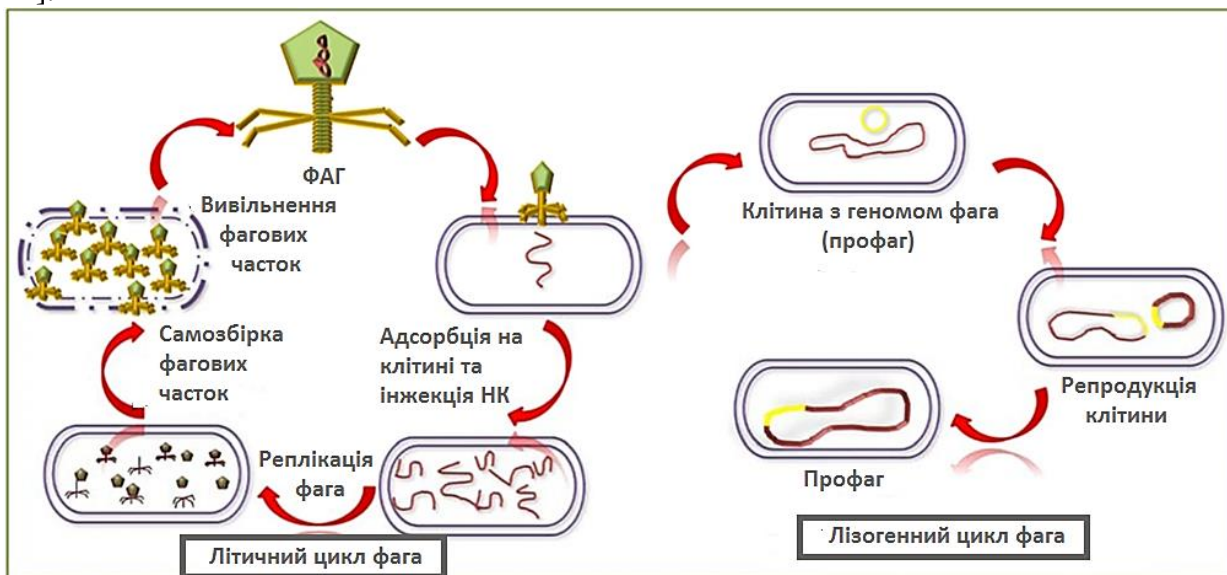


Рис. 1. Життєвий цикл фагів (НК – нуклеїнова кислота)

У вірулентному стані віруси здатні інфікувати та лізувати чутливі штами закваски, призводячи до сповільнення наростання кислотності, а в критичних випадках до збою ферментації і втрати цільового продукту. Лізис певних штамів закваски може стати причиною отримання низькоякісних або неякісних продуктів з різноманітними органолептичними вадами, такими як погіршення смаку й аромату, нетипова консистенція, відсутність отворів у голландських і швейцарських сирах та ін. [6, 15, 18]. Залежно від стадії процесу, на якій відбувається масовий фаголізис заквашувальних культур, наслідки порушення ферментації можуть варіюватися від повільного утворення кислоти до повної втрати виробленої партії продукту. Результатом фагових атак на ранніх етапах ферментації є високе значення активної кислотності через недостатній вміст молочної кислоти та велика залишкова концентрація лактози. Лактоза може стати субстратом для метаболічної активності сторонньої мікрофлори, що негативно позначиться на якості продукту. Крім цього перелічені фактори можуть створити оптимальну екосистему для росту патогенних мікроорганізмів, а це загрожує серйозними наслідками для здоров'я споживача. Проблема створює і той факт, що перебуваючи у довкіллі фаги дуже стійкі і, не зважаючи на застосування заходів виробничої гігієни та використання дезінфектантів, можуть зберігатись у середовищі виробництва упродовж кількох років [19, 20].

У багатьох країнах у крафтовому виробництві традиційних сирів використовують природні закваски, що складаються з мікроорганізмів невизначеного видового складу. Такі кустарні закваски вважаються високо толерантними до фагової інфекції, оскільки наявні в них лактобактерії репродукуються за наявності фагів, що призводить до домінування резистентних або толерантних штамів [21]. Однак через низьку відтворюваність технологічних характеристик у промисловому великомасштабному виробництві сиру їх замінено на багатоштамові закваски прямого внесення (DSC та DVI). Штами, що входять до складу таких заквасок добре досліджені, технологічні показники високо відтворювані, але внаслідок обмеженої кількості наявних у них штамів, вони є чутливими до фагової інфекції.

Для зменшення ризику фагового забруднення використовують концентровані заквашувальні препарати (10^{10} – 10^{12} КУО/г), які вносять безпосередньо в чан (пряма інокуляція культур DVI), без необхідності активації закваски, тим самим запобігаючи

інфікуванню фагами з середовища сироварні. Використання та ротація DVI заквасок є важливою складовою ефективною програми фагового контролю, оскільки допомагає уникнути повторного інфікування тим самим фагом і запобігає накопиченню вірусів на виробництві. Таким чином, різноманітність можливих джерел фагової інфекції у поєднанні з високою генетичною гнучкістю фагів робить ці віруси перманентною проблемою виробництва молочних ферментованих продуктів, яка вимагає постійного моніторингу та проведення досліджень для розробки нових підходів, спрямованих на запобігання виникненню ситуацій масового фаголізу (рис. 2).

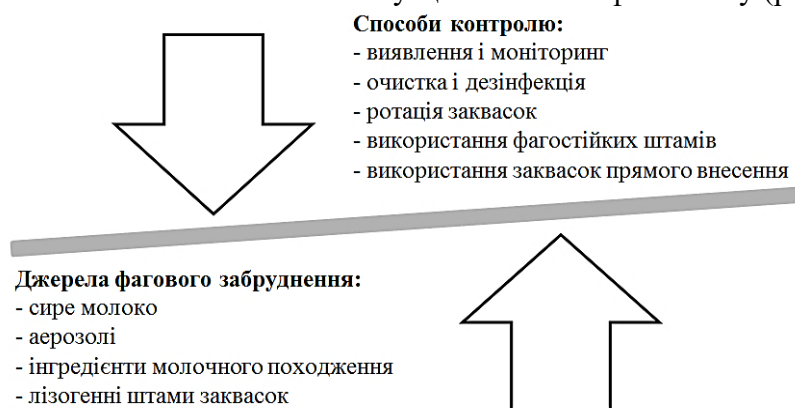


Рис. 2. Фактори забруднення виробництва фагами та способи їх контролю

Процес молочнокислого бродіння за наявності фага може відбуватися порізно. У разі інфікування заквашувальних культур гомологічними вірулентними фагами низького титру суттєвих відхилень технологічного процесу не спостерігається, що дозволяє отримати продукт задовільної якості. Однак завдяки високій репродуктивній здатності та відносно короткому латентному періоду – від

20 хв [15, 22], титр бактеріофагів може швидко зрости, призводячи до уповільнення ферментації і навіть до втрати продукту. Пояснюється це тим, що в процесі сироваріння ряд технологічних операцій сприяють розмноженню та накопиченню фагів: внесення в молоко хлористого кальцію (двовалентні іони, особливо кальцію, стимулюють репродукцію багатьох фагів МКБ); тривале перемішування під час обсушки сирного зерна, внаслідок чого зростає контакт бактерій та фагів; малі дози внесеної закваски та ін. Тому на сироробних заводах фаги виявляються частіше в приміщеннях, безпосередньо пов'язаних з виробництвом сиру. Крім того внесення фага, активного до одного із штамів закваски, зазвичай суттєво не впливає на швидкість наростання активної кислотності сирної маси та загальну чисельність мікрофлори, оскільки життєдіяльність інших штамів закваски забезпечує нормальний хід молочнокислої ферментації та накопичення біомаси лактобактерій. За умов внесення фагів-гомолігів до двох чи трьох штамів закваски спостерігається різке падіння швидкості кислотоутворення під час пресування, внаслідок зменшення загальної чисельності лактобактерій порівняно з контролем, що призводить до зниження темпів протеолізу, що дуже негативно позначається на якості отриманого сиру [23].

Значні зусилля дослідників спрямовані на розробку методів виявлення фагів та запобігання розвитку ситуацій масового фаголізу на виробництві. Одним із найпоширеніших способів виявлення фагів на молочних заводах є тест на активність, що ґрунтується на визначенні швидкості наростання кислотності під час ферментування молока. Цей тест свідчить про присутність фагів у разі коли наростання активної кислотності уповільнюється [21]. Проведення фагового моніторингу включає мікробіологічні та молекулярні методи аналізу. Загальновизнаним мікробіологічним методом є метод подвійного агару, який дозволяє встановити рівень фагового забруднення. Однак для мікробіологічних досліджень необхідні індикаторні штами, крім того такі дослідження займають багато часу, тому було розроблено ряд альтернативних молекулярних методів, спрямованих на виявлення присутності фагових віріонів або їх компонентів – білків чи ДНК. Імунологічні методи, наприклад, імуоферментний аналіз, ґрунтуються на використанні специфічних до структурних білків віріона антитіл, тоді як

вірусну ДНК можна виявити за допомогою специфічних ДНК-гібридаційних зондів або за допомогою полімеразної ланцюгової реакції (ПЛР). Методи ПЛР були успішно адаптовані для виявлення та ідентифікації фагів на різних етапах виробництва молочних продуктів. В одній мультиплексній ПЛР (англ. multiplex PCR) реакції можна виявити кілька найпоширеніших фагів, що інфікують молочнокислі бактерії, зокрема, фаги *Lactococcus lactis* P335, 936 і c2 та фаги *Streptococcus thermophilus* і *Lactobacillus delbrueckii* [3, 24].

Упровадження молекулярних технологій і подальше застосування геноміки виявились дуже успішними для з'ясування таксономічного положення фагів, пояснення їх надзвичайно високої адаптивності, а також допомогли краще зрозуміти природу інфекційного процесу та з'ясувати арсенал механізмів фагостійкості, яких набули в процесі еволюції потенційно чутливі бактерії для боротьби з інфекцією.

На основі морфології віріонів (рис. 3, рис.4) та спорідненості ДНК фаги, активні до промислових штамів лактобактерій (*Lactococcus lactis*, *Lactococcus cremoris*, *Streptococcus thermophilus*, *Leuconostoc mesenteroides*, *Leuconostoc pseudomesenteroides*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*) дослідники поділяються на десять [25], шість [26] чи п'ять груп [27, 28]. Декілька з цих груп було ідентифіковано упродовж останнього десятиліття, що свідчить про високу адаптивність вірусів у середовищі виробництва та значну поширеність проблеми бактеріофагії.

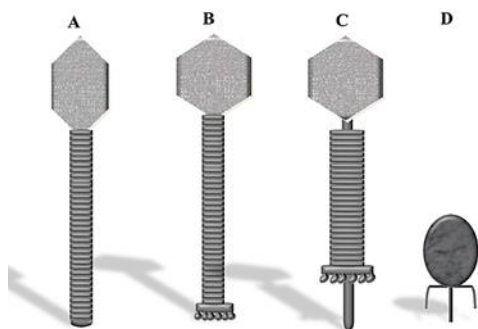


Рис. 3. Схематичне зображення морфотипів фагів, що інфікують МКБ:

А – фаги родини *Siphoviridae* з витягнутою головкою, В – фаги родини *Siphoviridae* з ізометричною головкою. Представники родини *Siphoviridae* мають довгі нескоротливі хвостові відростки. С – фаги родини *Myoviridae* з довгим скоротливим хвостовим відростком, D – фаги родини *Podoviridae* з коротким нескоротливим хвостовим відростком [29].

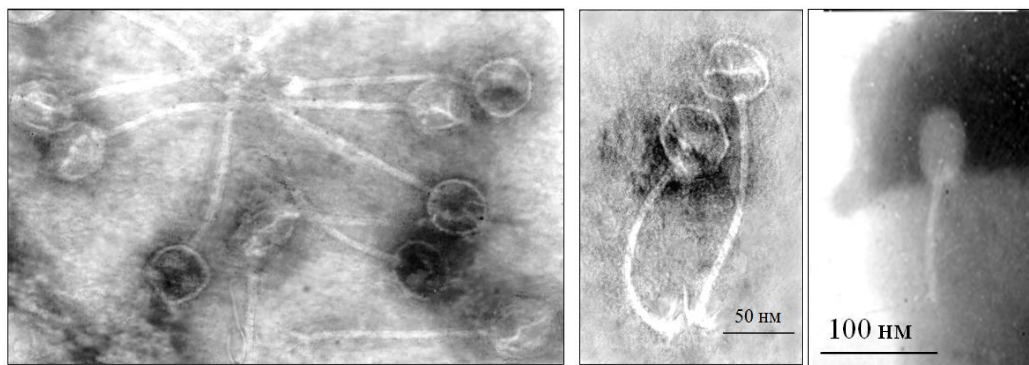


Рис. 4. Електроннограма фагів, вилучених з підсирної сироватки (інструментальне збільшення 40 000), фото автора

Взаємодія фагів з чутливими до них лактококами і термофільними стрептококами була в центрі уваги дослідників упродовж останніх чотирьох десятиліть. Результатом стало розуміння стратегій, які використовують фаги для інфікування вказаних видів бактерій та стратегій, які використовують бактерії для захисту від фагової інфекції. Найважливішими напрямками досліджень стали:

- характеристика систем фагостійкості бактерій

- дослідження рецепторів клітинної стінки бактерії-хазяїна і їх кореляція з відповідними фаговими білками, що забезпечують адсорбцію віруса на чутливій клітині. Результати досліджень дозволили розробити підходи до створення фагостійких заквашувальних культур, а також спрогнозувати чутливість лактобактерій до фагів,

ідентифікувати генетично споріднені чи неспоріднені штами з метою їх використання у ротаційних схемах [2].

Тривале співжиття лактобактерій та їх фагів в одному середовищі сприяло набуттю бактеріями різноманітних фагозахисних механізмів, які можуть кодуватись плазмідними або хромосомними генами: інгібування адсорбції фагів, блокування інжекції ДНК, системи рестрикції/модифікації, системи CRISPR-Cas та абортівні інфекції. Перенесення різноманітних фагорезистентних механізмів до промислових штамів МКБ дало змогу істотно підвищити їх фагостійкість. Однак інтенсивне використання таких фагостійких культур з часом призводить до виникнення активних до них фагових мутантів.

Можливість конструювання фагостійких штамів відкрила перспективи для використання ротаційних стратегій, що базуються на особливостях різних фагозахисних механізмів. Sing and Klaenhammer [30], зокрема, започаткували новий підхід для ротації заквасок, суть якого полягає у використанні дериватів одного штаму, які містять різні фагозахисні механізми. Це дозволило обмежити виникнення фагів, що так чи інакше з'являються за умов безперервного використання будь-якої культури. Уведення різноманітних резистентних механізмів, які діють на різних етапах фагового літичного циклу, допомагає оптимізувати фагове інгібування, а отже, мінімізує появу і накопичення нових літичних бактеріофагів у межах заводу.

Завдяки використанню ротації фагозахисних стратегій високопродуктивні штами до певної міри можуть бути захищені за умов їх безперервного використання у виробництві, що дозволяє розширити використання культур, які мають хороші ферментативні показники. До того ж спрощується процедура проведення заводського моніторингу за виникненням нових фагів, оскільки для скринінгу зразків як індикаторний може бути використаний початковий (материнський) штам, що, очевидно, є найчутливішим до фагової інфекції, тоді як за умов використання традиційних ротацій для проведення моніторингу заводських фагових популяцій зазвичай щодня використовується від 20 до 50 різноманітних індикаторних штамів [30]. Отже, ротація фагорезистентних механізмів в одному хазяїні – значне досягнення щодо вдосконалення заквашувальних культур.

Альтернативою може слугувати отримання із чутливих штамів спонтанних фагостійких мутантів. Цей спосіб простий, не передбачає генетичних маніпуляцій і тому не має нормативних обмежень щодо застосування в промисловому середовищі, однак має суттєвий недолік – високу частоту реверсії бактерій до чутливого фенотипу [31, 32].

Висновки.

1. Через високий вміст і велику різноманітність фагів у природних екосистемах сирого молока, запобігти потраплянню фагів та забезпечити їх відсутність на виробництві практично неможливо, тому зусилля дослідників спрямовані на розробку ефективних механізмів фагового контролю, а не на повну елімінацію вірусів.

2. Наявність різноманітних джерел фагового забруднення у поєднанні з високою генетичною гнучкістю фагів робить ці віруси перманентною проблемою виробництва молочних ферментованих продуктів, яка вимагає постійного моніторингу та проведення досліджень для розробки нових підходів до фагового контролю, а також розробки нових технологій вилучення фагів із сировини, побічних продуктів виробництва, повітря й обладнання.

Бібліографія

1. Whitehead H. R., Cox G. The occurrence of bacteriophage in starter cultures of lactic streptococci. N. Z. J. Dairy Sciences. Technol. 1935. 16, 319–320.
2. Charneco G.O., de Waal P.P., van Rijswijck I. M.H., van Peij N., van Sinderen D., Mahony J. Bacteriophages in the Dairy Industry: A Problem Solved? Annu Rev Food Sci Technol. 2023. 14(1), 367–385.

3. Rio del B., Binetti A.G., Martín M.C., Fernández M., Magadán A.H., Alvarez M.A. Multiplex PCR for the detection and identification of dairy bacteriophages in milk. *Food Microbiol.* 2007. 24, 75–81.
4. Verreault D., Gendron L., Rousseau G.M., Veillette M., Massé D. Detection of airborne lactococcal bacteriophages in cheese manufacturing plants. *Appl. Environ. Microbiol.* 2011. 77, 491–97.
5. Strathdee S. A., Hatfull G. F., Mutalik V. K., Schooley R. T. Review Phage therapy: From biological mechanisms to future directions. *Cell* 2023. 186(1), 17–31.
6. Xumei S., Haibo J., Siyuan Z. Diversities and interactions of phages and bacteria in deep-sea sediments as revealed by metagenomics *Front. Microbiol. Sec. Virology* 2023. 14. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1337146>.
7. Atamer Z., Dietrich J., Müller-Merbach M., Neve H., Heller K.J., Hinrichs J. Screening for and characterization of *Lactococcus lactis* bacteriophages with high thermal resistance. *Int Dairy J.* 2009. 19, 228–35.
8. Briggiler M. M., De Antoni G. L., Reinheimer J. A., Quiberoni A. Thermal, chemical, and photocatalytic inactivation of *Lactobacillus plantarum* bacteriophages. *J. Food. Prot.* 2009. 72, 1012–1019.
9. Atamer Z., Ali Y., Neve H., Heller K. J., Hinrichs J. Thermal resistance of bacteriophages attacking flavor-producing dairy *Leuconostoc* starter cultures. *Int. Dairy J.* 2011. 21, 327–334.
10. Neve H., Berger A., Heller K.J. A method for detecting and enumerating airborne virulent bacteriophage of dairy starter cultures. *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte* 1995. 47, 193–207.
11. Geagea H., Gomaa A.I., Remondetto G., Moineau S., Subirade M. Investigation of the protective effect of whey proteins on lactococcal phages during heat treatment at various pH. *Int. J. Food Microbiol.* 2015. 210, 33–41.
12. Carminati D., Giraffa G., Quiberoni A., Binetti A., Suárez V., Reinheimer J. Advances and trends in starter cultures for dairy fermentations. In: Mozzi F., Raya R., Vignolo G. *Biotechnology of lactic acid bacteria: Novel applications*. Iowa, USA: Wiley-Blackwell 2010, 177–192.
13. Somerville V., Berthoud H., Schmidt R.S., Bachmann H.-P., Meng Y.H. Functional strain redundancy and persistent phage infection in Swiss hard cheese starter cultures. *ISME J.* 2021. 16, 388–99.
14. Escobedo S., Wegmann U., de Pipaon M.P., Campelo A.B., Stentz R., Rodríguez A., Martínez B. Resident TP712 Prophage of *Lactococcus lactis* Strain MG1363 Provides Extra Holin Functions to the P335 Phage CAP for Effective Host Lysis. *Appl Environ Microbiol.* 2021. 87 (19). <https://journals.asm.org/doi/10.1128/aem.01092-21>.
15. Oliveira J., Mahony J., Hanemaaijer L., Kouwen T.R., van Sinderen D. Biodiversity of bacteriophages infecting *Lactococcus lactis* starter cultures. *J. Dairy Sci.* 2018. 101, 96–105.
16. Ho C.-H., Stanton-Cook M., Beatson S.A., Bansal N., Turner M.S. Stability of active prophages in industrial *Lactococcus lactis* strains in the presence of heat, acid, osmotic, oxidative and antibiotic stressors. *Inter. Journal of Food Microbiol.* 2016. 220, 26–32.
17. Alexeeva S., Martínez J.A., Spus M. Spontaneously induced prophages are abundant in a naturally evolved bacterial starter culture and deliver competitive advantage to the host. *BMC Microbiol.* 2018. 18, 120. <https://doi.org/10.1186/s12866-018-1229-1>.
18. Pujato S., Quiberoni A., Mercanti D. Bacteriophages on dairy foods. *J. Appl. Microbiol.* 2019. 126, 14–30.
19. Lavelle K., Murphy J., Fitzgerald B., Lugli G.A., Zomer A. A decade of *Streptococcus thermophilus* phage evolution in an Irish dairy plant. *Appl. Environ. Microbiol.* 2018. 84(10). <https://doi.org/10.1128/AEM.02855-17>.
20. Guglielmotti D. M., Mercanti D. J., Reinheimer J. A., Quiberoni A. Review: efficiency of physical and chemical treatments on the inactivation of dairy bacteriophages. *Front. Microbiol.* 2012. 2 <https://doi.org/10.3389/fmicb.2011.00282>.
21. Marcó M.B., Moineau S., Quiberoni A. Bacteriophages and dairy fermentations. *Bacteriophage* 2012. 2, 149–158.
22. Miklic A., Rogelj I. Characterization of lactococcal bacteriophages isolated from Slovenian dairies *Intern. J. of Food Sci. and Technol.* 2003. 38, 305–311.

23. Neve H., Berger A., Heller K. J. A method for detecting and enumerating airborne virulent bacteriophage of dairy starter cultures. *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte* 1995. 47, 193–207.
24. Labrie S., Moineau S. Multiplex PCR for detection and identification of lactococcal bacteriophages. *Appl. Environ. Microbiol.* 2000. 66, 987–994.
25. Deveau H., Labrie S. J., Chopin M. C., Moineau S. Biodiversity and classification of lactococcal phages. *Appl. Environ. Microbiol.* 2006. 72, 4338–4346.
26. Ali Y., Kot W., Atamer Z., Hinrichs J., Vogensen F.K. Classification of lytic bacteriophages attacking dairy *Leuconostoc* starter strains. *Appl. Environ. Microbiol.* 2013. 79, 3628–3636.
27. Casey E., Mahony J., Neve H., Noben J.-P., Dal Bello F., van Sinderen D. Novel phage group infecting *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis*, as revealed by genomic and proteomic analysis of bacteriophage Ldl1. *Appl. Environ. Microbiol.* 2015. 81, 1319–1326.
28. Hanemaaijer L., Kelleher P., Neve H., Franz C., de Waal P. P. Biodiversity of phages infecting the dairy bacterium *Streptococcus thermophilus*. *Microorganisms* 2021. 9(9), 1822. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9091822>.
29. Mahony J., Bottacini F., van Sinderen D., Fitzgerald G.F. Progress in lactic acid bacterial phage research. *Microb Cell Fact* 13 (Suppl 1), (2014). <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-S1-S1>.
30. Sing W. D., Klaenhammer T.R. A Strategy for Rotation of Different Bacteriophage Defenses in a Lactococcal Single-Strain Starter Culture Systems *Appl. Environ. Microbiol.* 1993. 59(2), 365–372.
31. Binetti A. G., Bailo N. B., Reinheimer J. A. Spontaneous phage-resistant mutants of *Streptococcus thermophilus*: Isolation and technological characteristics. *Int. Dairy J.* 2007. 17 (4), 343–349.
32. Capra M. L., Mercanti D. J., Rossetti L. C., Reinheimer J. A., Quiberoni A. Isolation and phenotypic characterization of *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus paracasei* bacteriophage-resistant mutants. *J. Appl. Microbiol.* 2011. 111, 371–381.

References

1. Whitehead, H. R., Cox G. (1935). The occurrence of bacteriophage in starter cultures of lactic streptococci N.Z. *J. Dairy Sciences. Technol.* 16. P. 319–320.
2. Charneco, G. O., de Waal, P. P., van Rijswijck, I. M. H., van Peij, N., van Sinderen, D., Mahony, J. (2023). Bacteriophages in the Dairy Industry: A Problem Solved? *Annu Rev Food Sci Technol.* 14 (1), 367–385.
3. Rio, del B., Binetti, A. G., Martín, M. C., Fernández, M., Magadán, A. H., Alvarez, M. A. (2007). Multiplex PCR for the detection and identification of dairy bacteriophages in milk. *Food Microbiol.* 24, 75–81.
4. Verreault, D., Gendron, L., Rousseau, G.M., Veillette, M., Massé, D. (2011). Detection of airborne lactococcal bacteriophages in cheese manufacturing plants. *Appl. Environ. Microbiol.* 77, 491–97.
5. Strathdee, S. A., Hatfull, G. F., Mutalik, V. K., Schooley, R. T. (2023). Review Phage therapy: From biological mechanisms to future directions *Cell.* 186(1), 17–31.
6. Xumei, S., Haibo, J., Siyuan, Z. (2023). Diversities and interactions of phages and bacteria in deep-sea sediments as revealed by metagenomics *Front. Microbiol. Sec. Virology* Vol. 14 <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1337146>.
7. Atamer, Z., Dietrich, J., Müller-Merbach, M., Neve, H., Heller, K. J., Hinrichs, J. (2009). Screening for and characterization of *Lactococcus lactis* bacteriophages with high thermal resistance. *Int Dairy J.* 19, 228–35.
8. Briggiler, M. M., De Antoni, G. L., Reinheimer, J. A., Quiberoni, A. (2009). Thermal, chemical, and photocatalytic inactivation of *Lactobacillus plantarum* bacteriophages. *J. Food. Prot.* 72, 1012–1019.
9. Atamer, Z., Ali, Y., Neve, H., Heller, K. J., Hinrichs, J. (2011). Thermal resistance of bacteriophages attacking flavor-producing dairy *Leuconostoc* starter cultures. *Int. Dairy J.* 21, 327–334.
10. Neve, H., Berger, A., Heller, K.J. (1995). A method for detecting and enumerating airborne virulent bacteriophage of dairy starter cultures. *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte.* 47, 193–207.
11. Geagea, H., Gomaa, A.I., Remondetto, G., Moineau, S., Subirade, M. (2015). Investigation of the protective effect of whey proteins on lactococcal phages during heat treatment at various pH. *Int. J. Food Microbiol.* 210, 33–41.

12. Carminati, D., Giraffa, G., Quiberoni, A., Binetti, A., Suárez, V., Reinheimer, J. (2010). Advances and trends in starter cultures for dairy fermentations. In: Mozzi F., Raya R., Vignolo G. *Biotechnology of lactic acid bacteria: Novel applications*. Iowa, USA: Wiley-Blackwell. 177–192.
13. Somerville, V., Berthoud, H., Schmidt, R. S., Bachmann, H.-P., Meng, Y. H. (2021). Functional strain redundancy and persistent phage infection in Swiss hard cheese starter cultures. *ISME J.* 16, 388–99.
14. Escobedo, S., Wegmann, U., de Pípaon, M.P., Campelo, A.B., Stentz, R., Rodríguez, A., Martínez, B. (2021). Resident TP712 Prophage of *Lactococcus lactis* Strain MG1363 Provides Extra Holin Functions to the P335 Phage CAP for Effective Host Lysis. *Appl. Environ. Microbiol.* 87 (19). <https://journals.asm.org/doi/10.1128/aem.01092-21>.
15. Oliveira, J., Mahony, J., Hanemaaijer, L., Kouwen, T.R., van Sinderen, D. (2018). Biodiversity of bacteriophages infecting *Lactococcus lactis* starter cultures. *J. Dairy Sci.* 101, 96–105.
16. Ho, C.-H., Stanton-Cook, M., Beatson, S.A., Bansal, N., Turner, M. S. (2016). Stability of active prophages in industrial *Lactococcus lactis* strains in the presence of heat, acid, osmotic, oxidative and antibiotic stressors. *Int. J. of Food Microbiol.* 220, 26–32.
17. Alexeeva, S., Martínez, J.A., Spus, M. (2018). Spontaneously induced prophages are abundant in a naturally evolved bacterial starter culture and deliver competitive advantage to the host. *BMC Microbiol.* 18, 120 <https://doi.org/10.1186/s12866-018-1229-1>.
18. Pujato, S., Quiberoni, A., and Mercanti, D. (2019). Bacteriophages on dairy foods. *J. Appl. Microbiol.* 126, 14–30.
19. Lavelle, K., Murphy, J., Fitzgerald, B., Lugli, G.A., Zomer, A. (2018). A decade of *Streptococcus thermophilus* phage evolution in an Irish dairy plant. *Appl. Environ. Microbiol.* 84 (10). <https://doi.org/10.1128/AEM.02855-17>.
20. Guglielmotti, D. M., Mercanti, D. J., Reinheimer, J. A., Quiberoni, A. (2012). Review: efficiency of physical and chemical treatments on the inactivation of dairy bacteriophages. *Front. Microbiol.* 2 <https://doi.org/10.3389/fmicb.2011.00282>.
21. Marcó, M. B., Moineau, S., Quiberoni, A. (2012). Bacteriophages and dairy fermentations. *Bacteriophage* 2, 149–158.
22. Miklic, A., Rogelj, I. (2003). Characterization of lactococcal bacteriophages isolated from Slovenian dairies. *Intern. J. of Food Sci. and Technol.* 38. P. 305–311.
23. Neve, H., Berger, A., Heller, K. J. (1995). A method for detecting and enumerating airborne virulent bacteriophage of dairy starter cultures. *Kieler Milchwirtschaftliche Forschungsberichte.* 47, 193–207.
24. Labrie, S., Moineau, S. (2000). Multiplex PCR for detection and identification of lactococcal bacteriophages. *Appl. Environ. Microbiol.*, 66, 987–994.
25. Deveau, H., Labrie, S. J., Chopin, M. C., Moineau, S. (2006). Biodiversity and classification of lactococcal phages. *Appl. Environ. Microbiol.* 72, 4338–4346.
26. Ali, Y., Kot, W., Atamer, Z., Hinrichs, J., Vogensen, F. K. (2013). Classification of lytic bacteriophages attacking dairy *Leuconostoc* starter strains. *Appl. Environ. Microbiol.* 79, 3628–36.
27. Casey, E., Mahony, J., Neve, H., Noben, J.-P., Dal Bello, F., van Sinderen, D. (2015). Novel phage group infecting *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis*, as revealed by genomic and proteomic analysis of bacteriophage Ldl1. *Appl. Environ. Microbiol.* 81, 1319–26.
28. Hanemaaijer, L., Kelleher, P., Neve, H., Franz, C., de Waal, P.P. (2021). Biodiversity of phages infecting the dairy bacterium *Streptococcus thermophilus*. *Microorganisms* 9 (9), 1822. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9091822>.
29. Mahony, J., Bottacini, F., van Sinderen, D., Fitzgerald, G.F. (2014). Progress in lactic acid bacterial phage research. *Microb Cell Fact* 13 (Suppl 1), <https://doi.org/10.1186/1475-2859-13-S1-S1>.
30. Sing, W. D., Klaenhammer, T. R. (1993). A Strategy for Rotation of Different Bacteriophage Defenses in a Lactococcal Single-Strain Starter Culture Systems. *Appl. Environ. Microbiol.* 59 (2), 365–372.
31. Binetti, A. G., Bailo, N. B., Reinheimer, J. A. (2007). Spontaneous phage-resistant mutants of *Streptococcus thermophilus*: Isolation and technological characteristics. *Int. Dairy J.* 17(4), 343–349.
32. Capra, M. L., Mercanti, D. J., Rossetti, L. C., Reinheimer, J. A., Quiberoni, A. (2011). Isolation and phenotypic characterization of *Lactobacillus casei* and *Lactobacillus paracasei* bacteriophage-resistant mutants. *J. Appl. Microbiol.* 111, 371–381.

ЕКОНОМІЧНІ НАУКИ

UDC 338.439

BASIC INSTITUTIONAL AND TECHNOLOGICAL FACTORS OF FOOD SECURITY

Anatolii Yuzefovich¹, D-r of Sc., Economics, Professor, Corresponding Member of NAAS.
<https://orcid.org/0000-0003-0019-408X>

*Seraii Verbytskyi¹, PhD, Engineering, Head of Department
of Informational Support, Innovative Providing, Standardization and Metrology*
<https://orcid.org/0000-0002-4211-3789>

*Yaroslav Rybak¹, PhD, Economics, Senior Researcher of Department
of Informational Support, Innovative Providing, Standardization and Metrology*
<https://orcid.org/0009-0007-4218-5663>

*Nataliia Patsera¹, Deputy Head of Department
of Informational Support, Innovative Providing, Standardization and Metrology*
<https://orcid.org/0000-0001-8737-9997>

*Liudmyla Bratchuk², PhD, Economics, Leading Researcher
of Department of Agrarian Economics and Food*
<https://orcid.org/0009-0002-3040-3380>

¹Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

²National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-26>

Subject. Food security is the state's ability to provide its population with sufficient quantities of food that meet scientifically based norms, ensuring the availability of essential resources and capacities for domestic production, regardless of internal or external challenges and threats. This encompasses maintaining positive demographic dynamics, preserving the national gene pool, fostering sustainable development, supporting integration into the global economy, and safeguarding sovereignty and independence. The article examines the interrelation between food security and the institutional, technological, and regulatory solutions required to sustain it, particularly during emergencies. **Purpose.** To identify institutional and technological factors influencing food security and develop recommendations to enhance the resilience and sustainability of food systems. This includes analyzing the modernization of the agricultural sector, expanding processing capacities, and promoting local food production. The study also emphasizes raising public awareness about food safety and sustainable consumption practices, as well as implementing early warning systems and social support programs to protect vulnerable populations. **Methods.** The study employs a systematic approach to analyze the current food security context, combining data analysis with the evaluation of innovative technologies and international cooperation frameworks. The research integrates statistical data, case studies, and regulatory reviews to draw comprehensive conclusions. **Results.** The findings underline that food security demands a multi-dimensional approach, integrating advanced technologies, sustainable practices, and coordinated efforts at state, local, and international levels. The study highlights disparities in food security indicators across income levels, emphasizing the need for tailored strategies. **Scope of results.** The results are aimed at supporting policymakers, researchers, and practitioners in creating resilient and sustainable food systems capable of adapting to future crises and promoting equitable access to safe and nutritious food.

Key words: food security, institutional factors, technological advancements, agricultural modernization, sustainable consumption, emergencies, early warning systems

**ОСНОВНІ ІНСТИТУЦІЙНІ ТА ТЕХНОЛОГІЧНІ ЧИННИКИ
ПРОДОВОЛЬЧОЇ БЕЗПЕКИ**

Юзефович А. Е.¹, д.е.н., проф., член-кор. НААН
<https://orcid.org/0000-0003-0019-408X>

*Вербицький С. Б.¹, к.т.н., завідувач відділу завідувач відділу інформаційного забезпечення,
інноваційного провайдингу, стандартизації та метрології*
<https://orcid.org/0000-0002-4211-3789>

Рибак Я. Я.¹, к.е.н, с.н.с. відділу інформаційного забезпечення,
інноваційного провайдингу, стандартизації та метрології
<https://orcid.org/0009-0007-4218-5663>

Пацера Н. М.¹, заст. завідувача завідувач відділу інформаційного забезпечення,
інноваційного провайдингу, стандартизації та метрології
<https://orcid.org/0000-0001-8737-9997>

Братчук Л. М.², к.е.н, п.н.с. відділення аграрної економіки і продовольства
<https://orcid.org/0009-0002-3040-3380>

¹Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна

²Національна академія аграрних наук України, м. Київ, Україна

Предмет. Продовольча безпека – це здатність держави забезпечувати населення достатніми обсягами продовольства, які відповідають науково обґрунтованим нормам, гарантуючи наявність необхідних ресурсів і потужностей для внутрішнього виробництва, незалежно від внутрішніх або зовнішніх викликів та загроз. Це включає підтримку позитивної демографічної динаміки, збереження національного генофонду, сприяння сталому розвитку, інтеграцію у світову економіку та захист суверенітету і незалежності. У статті досліджується взаємозв'язок між продовольчою безпекою та інституційними, технологічними й нормативними рішеннями, необхідними для її стабільності, особливо в умовах надзвичайних ситуацій. **Мета.** Визначити інституційні та технологічні чинники, які впливають на продовольчу безпеку, і розробити рекомендації для підвищення стійкості та сталості продовольчих систем. Це включає аналіз модернізації сільського господарства, розширення переробних потужностей та сприяння розвитку місцевого виробництва. Дослідження також акцентує увагу на підвищенні обізнаності населення щодо безпеки продуктів харчування та раціональних методів споживання, а також впровадженні систем раннього попередження та програм соціальної підтримки для захисту вразливих верств населення. **Методи.** У дослідженні використано системний підхід для аналізу сучасного контексту продовольчої безпеки, який поєднує аналіз даних з оцінкою інноваційних технологій та міжнародних рамок співробітництва. У роботі використовуються статистичні дані, кейс-стаді та огляди нормативно-правових документів для формування всебічних висновків. **Результати.** Результати свідчать, що забезпечення продовольчої безпеки потребує багатовимірного підходу, який інтегрує передові технології, сталі практики та скоординовані дії на державному, місцевому та міжнародному рівнях. У дослідженні наголошується на відмінностях у показниках продовольчої безпеки залежно від рівня доходів, підкреслюючи необхідність адаптованих стратегій. **Сфера застосування результатів.** Отримані результати спрямовані на підтримку розробників політик, дослідників та практиків у створенні стійких і сталих продовольчих систем, здатних адаптуватися до майбутніх криз і забезпечувати рівний доступ до безпечного та якісного продовольства.

Ключові слова: продовольча безпека, інституційні чинники, технологічні досягнення, модернізація сільського господарства, сталі практики споживання, надзвичайні ситуації, системи раннього попередження

Problem statement. Food security is a fundamental aspect of national security, playing a crucial role in maintaining the health, well-being, and economic stability of populations. It encompasses several key dimensions, including the availability of sufficient food supplies, the accessibility of food to all people, the stability of supply chains, and the appropriate use of food in terms of safety and nutritional quality. The importance of food security has grown significantly over recent decades, especially in light of global challenges such as climate change, economic crises, political instability, and natural disasters. In these contexts, ensuring that people have continuous access to safe, nutritious, and affordable food has become a critical priority for governments, international organizations, and local communities.

The concept of food security was formally defined at the World Summit on Food Security in 1996, organized by the Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations. According to the Rome Declaration on World Food Security, food security is achieved when “all people, at all times, have physical and economic access to sufficient, safe, and nutritious food that meets their dietary needs and food preferences for an active and healthy life” [1]. This

definition highlights the multi-dimensional nature of food security, which goes beyond the mere availability of food to include issues of quality, safety, and cultural relevance.

In developed countries, food security efforts tend to focus on ensuring the quality and safety of food products, with robust regulatory frameworks and technological advancements ensuring that food meets high standards. In contrast, developing countries often face more immediate challenges related to the physical availability of food and its economic accessibility. These regions are often more vulnerable to disruptions in food production and supply due to factors such as poverty, political conflict, and natural disasters. Ensuring food security in these contexts requires targeted interventions aimed at improving agricultural productivity, enhancing market access, and reducing inequalities in food distribution.

Emergency situations, such as natural disasters, wars, or pandemics, underscore the fragility of food systems and the urgent need for coordinated action. In such cases, food security becomes a matter of life and death, with people facing the risk of food shortages, malnutrition, and even famine. Effective food security strategies during emergencies must focus on stabilizing production, ensuring the continuity of supply chains, and providing immediate assistance to the most vulnerable groups. At the same time, building long-term resilience into food systems is crucial to ensure they can withstand future shocks and continue to meet the needs of populations under changing global conditions.

The relationship between agriculture and food security is central for understanding how nations can protect themselves from food insecurity. Agricultural systems must be both productive and sustainable, balancing the need for increased output with the imperative to protect natural resources. Innovations in farming technologies, improvements in infrastructure, and the adoption of sustainable practices are all necessary to ensure that food systems remain resilient in the face of crises. Additionally, the role of local production, smallholder farmers, and cooperatives is increasingly recognized as a vital component of food security, as they can provide more localized and sustainable solutions to food shortages.

In the following sections, this article will explore how modernization of the agricultural sector, increasing agro-processing capacities, building infrastructure, and strengthening international cooperation can enhance food security, particularly during times of crisis. It will also discuss the role of public education and social support programs in fostering awareness about food security and encouraging sustainable consumption practices.

In a broad and universally accepted sense, food security refers to a state where all people, at all times, have both physical and economic access to enough safe and nutritious food to lead active and healthy lives. This definition emphasizes the multifaceted nature of food security, where both the availability of food and the ability to afford it are crucial components. In this context, food security is not only about the presence of food but also about ensuring that the food is of sufficient quality and nutritional value to meet the needs of individuals and communities. Access to such food must be continuous and reliable, without interruptions caused by emergencies, economic disparities, or supply chain disruptions [1, 2].

The need to secure these aspects becomes even more critical when addressing vulnerable populations, who are often the most affected by disruptions in food supply. Effective food security strategies are thus closely tied to broader development goals, including poverty reduction, public health, and sustainable agricultural practices, making it a key focus for national policies and international efforts aimed at sustainable development.

Materials and methods. Within the framework of the research fulfilled, the principles of a systematic approach to the study of factual materials, normative and legal acts and documents as well as technical and commercial information were used as well as abstract logical approach to the generalization of research results and the formulation of conclusions made.

Findings and discussion. The formal definition of food security was established at the World Summit on Food Security in 1996, a significant milestone organized by the Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations. This summit was instrumental in framing

the global understanding of food security and highlighting its importance in the context of both national and international policy. According to the Rome Declaration on World Food Security, food security is defined as a condition where "all people, at all times, have physical and economic access to sufficient, safe, and nutritious food that meets their dietary needs and food preferences for an active and healthy life" [1]. This comprehensive definition underscores the idea that food security is not just about the availability of food but also its quality, safety, and cultural relevance.

In developed countries, the emphasis is often placed on the quality and safety of food products. With advanced food systems, technological innovation, and stricter regulatory frameworks, developed nations focus on ensuring that food not only meets basic nutritional needs but also adheres to high standards of health and safety. Issues like food contamination, chemical residues, and the nutritional content of processed foods are central concerns. Governments and regulatory bodies work closely with industry stakeholders to develop and enforce standards that ensure food safety and quality throughout the supply chain.

On the other hand, in developing countries, the primary concern is often more focused on the physical availability of food and its economic accessibility. In many regions, populations face challenges related to poverty, infrastructure, and agricultural capacity, which can hinder both the production and distribution of food. Here, the core focus of food security strategies is on ensuring that basic food staples are available in sufficient quantities and at prices that people can afford. Many developing nations must also deal with climatic vulnerabilities, political instability, and market disruptions, which can further complicate efforts to secure a stable food supply.

The concept of food security is built around four key pillars:

1. Food availability: This refers to the presence of sufficient quantities of food in the market to meet the needs of the population. Availability depends on domestic food production, imports, and food reserves. A stable food supply chain ensures that communities have reliable access to food, whether through local production or global trade.

2. Access to food: Access refers to individuals' and households' ability to acquire food, either by purchasing it or through their own production. It involves both physical access (proximity to markets or farms) and economic access (the financial resources needed to buy food). Social and economic inequalities can severely limit access to food for vulnerable populations, making it a critical component of food security strategies.

3. Stability: Stability focuses on the consistency of food availability and access over time. It means ensuring that access to food is not disrupted by factors such as market fluctuations, economic crises, conflicts, or natural disasters. A stable food system should be able to withstand shocks and maintain consistent access to food, even in times of crisis.

Proper use of food: this pillar concerns the safe and efficient utilization of food, which includes its storage, preparation, and distribution within households. Proper use ensures that food is handled in ways that preserve its nutritional value and safety, preventing spoilage, contamination, and waste. Additionally, cultural and dietary preferences are considered in this aspect, as food security also involves ensuring that people can access foods that align with their cultural and personal preferences [3, 4, 5].

The FAO's definition of food security and these four pillars provide a comprehensive framework for addressing the multi-dimensional nature of food security, recognizing that different countries and regions may face varying challenges in ensuring that their populations have reliable access to safe, nutritious food.

In emergency situations, such as economic crises, natural disasters, or armed conflicts, it becomes critical to develop strategies that ensure the stabilization and expansion of agro-processing capacities. These capacities are essential for ensuring a steady food supply and mitigating the negative impacts that crises can have on national economies and food systems. By increasing the depth of raw material processing and expanding agro-processing infrastructure, countries can significantly reduce GDP losses that may arise from disruptions in the agricultural

sector. Enhanced agro-processing capabilities also allow for a more diversified range of high-quality products, which contributes to the domestic market's supply of value-added products and improves overall food security [6].

One of the most effective ways to achieve these goals is the modernization of the agricultural sector. Introducing innovative technologies and advanced production processes can dramatically increase the sustainability and productivity of agricultural activities. By adopting automation, precision agriculture, and other cutting-edge techniques, farmers and food producers can optimize their use of resources, reduce waste, and enhance their output. Moreover, innovations such as climate-smart agriculture and sustainable land management practices help to protect the environment while simultaneously boosting yields, making agriculture more resilient to climate change and other external shocks.

The technological and regulatory aspects of food security are not confined to economic considerations alone. They also encompass scientific and technical components that are necessary for ensuring food quality and safety throughout the production chain. Ensuring high-quality and safe food requires the introduction of innovative approaches that enable the efficient use of resources and minimize the risk of food contamination. This includes the implementation of HACCP systems, Good Manufacturing Practices (GMPs), and traceability technologies, which help monitor and control food safety hazards throughout the production process [7].

Amid crises, it is crucial to ensure that all stakeholders involved in food production, distribution, and regulation are coordinated at the state, local, and international levels. This means that governments must play a leading role in supporting the agricultural sector by providing state support, such as subsidies or tax relief for farmers and food producers affected by the crisis. Local initiatives can also play a significant role in supporting small-scale farmers and producers who are particularly vulnerable to market disruptions. At the same time, attracting international grants and technical assistance from global organizations, such as the FAO or World Food Program, can provide the financial and technical resources necessary for the recovery and further development of the food industry.

An integrated approach is essential for ensuring the sustainable development of the agro-food complex, especially during times of crisis. This approach requires collaboration between governments, local authorities, agricultural producers, and international partners. By combining resources and expertise, these actors can develop coherent strategies that strengthen food production, improve supply chains, and ensure that food systems remain resilient even in the face of significant challenges. The integrated approach also emphasizes the importance of regional cooperation, where neighboring countries and international organizations work together to develop food security policies that benefit all parties involved [8].

In summary, the modernization of agricultural systems and agro-processing capacities, along with the application of innovative technologies, plays a pivotal role in safeguarding food security during emergencies. The focus should not only be on short-term recovery but also on building long-term resilience in food systems. By fostering cooperation between state, local, and international actors, the agro-food sector can continue to thrive, even in the most challenging circumstances.

Ensuring food security is not just producing enough food but also about creating effective systems for monitoring and responding to threats. In today's world, food systems are vulnerable to a wide range of potential disruptions, including climate change, natural disasters, political instability, and economic crises. To address these risks, it is essential to establish robust mechanisms that can anticipate, monitor, and respond to such challenges. One of the most critical tools in this context is the implementation of early warning systems. These systems are designed to detect potential crises in advance, enabling governments and international organizations to take timely interventions that mitigate the impact of these crises. Early warning systems use a combination of data collection, satellite imagery, and predictive models to identify

risks such as droughts, floods, and market fluctuations, and provide decision-makers with the information they need to act quickly and reduce negative consequences [9].

The development of information technologies and data management systems is also vital for improving the transparency and efficiency of food resource management. Advanced digital platforms and data analytics can facilitate real-time monitoring of food production, distribution, and consumption patterns, providing valuable insights that help optimize food security strategies. By using big data, artificial intelligence, and block-chain technology, governments and organizations can enhance the traceability of food products, ensuring that food safety standards are met while also improving accountability throughout the supply chain. These technologies also enable more accurate forecasting, allowing for better resource allocation and planning during times of scarcity.

Sustainability is a key principle in building resilient food systems. To ensure the long-term viability of food security, it is essential to support local production and strengthen supply chains. By focusing on local farmers and cooperatives, countries can reduce their dependence on external supplies and make their food systems more self-reliant and resilient during crises. Local production ensures that food is available closer to the point of consumption, which helps to minimize transportation costs and carbon emissions, while also fostering economic development in rural areas. Effective logistics chains further enhance the stability of food systems by ensuring that food can be efficiently transported from production centers to markets, even in the face of logistical challenges during emergencies.

In addition to supporting local production, the introduction of sustainable practices in agricultural production is crucial for ensuring food security. Sustainable agriculture focuses on environmentally friendly technologies that conserve resources, reduce pollution, and promote long-term productivity. Key practices include reducing the use of pesticides and chemical fertilizers, which can have harmful environmental and health effects, and instead focusing on organic farming methods and the use of biological pest control. Water management systems are another important component, particularly in regions prone to drought or water scarcity. Efficient irrigation techniques, such as drip irrigation and rainwater harvesting, help to conserve water while maintaining crop yields. Finally, preserving biodiversity is critical for sustaining ecosystems and ensuring that agriculture can adapt to changing environmental conditions. By promoting agro-ecological systems that integrate a variety of crops and livestock, farmers can reduce their vulnerability to pests and diseases, and improve the overall resilience of their agricultural systems [10].

A critical aspect of food security is ensuring access to food for the most vulnerable segments of the population, especially during times of crisis. Emergencies often disproportionately affect groups such as low-income families, children, the elderly people, and disabled individuals, who may already be struggling with food insecurity. For these consumers, even minor disruptions in food supply can cause drastic consequences. Therefore, it is crucial to develop and implement social support programs that ensure equitable access to food for all. These programs may include food assistance initiatives, where governments or organizations provide direct food aid to those in need. This can be in the form of food packages, vouchers, or cash transfers, depending on the context.

In addition to direct assistance, developing nutrition programs tailored to specific vulnerable groups, such as children and the elderly consumers is essential for addressing their unique dietary needs. School meal programs, for example, play a vital role in ensuring that children, particularly in low-income households, receive adequate nutrition. For the elderly people, programs focused on meal delivery services or community-based nutrition support can help ensure that they maintain access to nutritious food even when they face mobility or health-related challenges. Supporting community initiatives aimed at ensuring food security at the local level is also crucial. Community gardens, cooperatives, and local food banks can create locally-

driven solutions to food insecurity, fostering a sense of community ownership and resilience in the face of broader systemic challenges [11].

Public education programs on food security and sustainable consumption are also vital. These programs include educational events and information campaigns to raise awareness about food safety, healthy eating, and the rational use of resources [12].

Ensuring food security in emergency situations requires a comprehensive approach that includes modernizing the agricultural sector, increasing the depth of raw material processing, developing infrastructure, and involving international aid [9, 13].

Public education programs play a crucial role in promoting food security and sustainable consumption. These initiatives are vital for raising awareness about the importance of food safety, healthy eating habits, and the rational use of resources. In an increasingly interconnected world, where food systems are influenced by various environmental, economic, and social factors, it is essential that the public understands the complexity of these systems and how their choices impact both personal health and the broader environment [12].

Educational programs on food security can take many forms, including workshops, seminars, school curricula, and community outreach initiatives. Such programs focus on teaching individuals and communities how to make informed decisions regarding food production, purchase, preparation, and consumption. For example, in regions where food safety might be compromised by poor hygiene practices or contamination, these programs can teach safe handling, proper storage, and preparation techniques to minimize health risks. Furthermore, information campaigns can target various demographic groups, ensuring that both children and adults are well-informed about the nutritional value of the food they consume and how to maintain balanced diets that meet their health needs.

In addition to raising awareness about food safety, public education programs often emphasize the importance of sustainable consumption. This includes promoting the rational use of resources, such as water and energy, in food production and consumption, as well as reducing food waste. Reducing food waste not only contributes to environmental sustainability but also helps improve food security by ensuring that more food is available to those in need. Educational campaigns might, for instance, encourage people to buy locally-produced foods, reduce their carbon footprint, and adopt sustainable dietary practices, such as consuming plant-based foods or reducing excessive meat consumption. These practices help mitigate the environmental impacts of large-scale agricultural production while supporting local farmers and reducing dependence on global supply chains [12].

Ensuring food security in emergency situations requires a comprehensive and multi-faceted approach. Such an approach must address both immediate needs and longer-term structural challenges within the agricultural sector. First, modernizing the agricultural sector is essential for improving its resilience and capacity to respond to crises. This modernization involves the introduction of advanced technologies in farming practices, such as precision agriculture, automated systems, and smart irrigation, which enhance efficiency and productivity. By leveraging these technologies, farmers can optimize their use of resources, improve yields, and reduce waste, thereby strengthening the overall food system's ability to withstand shocks [9,13].

Increasing the depth of raw material processing is another critical component. By expanding the agro-processing industry, countries can add value to raw agricultural products, making them more economically viable and nutritionally valuable. This not only helps to reduce food loss during post-harvest stages but also provides more diverse food options for consumers, especially in times of scarcity. Developing infrastructure, such as storage facilities, transportation networks, and cold chains, is equally important to ensure that food products are efficiently distributed and safely stored, even during periods of crisis.

International assistance plays a pivotal role in supporting national efforts to enhance food security. This can take the form of financial aid, technical expertise, and capacity-building programs provided by global organizations such as the FAO, World Food Program (WFP), or

international non-governmental organizations. During emergencies, international aid helps fill critical gaps in food supply and distribution systems, ensuring that vulnerable populations receive the assistance they need. Moreover, international partnerships can facilitate the transfer of best practices and innovative solutions that bolster long-term resilience in the agricultural and food sectors [9,13].

The public education, combined with strategic efforts to modernize agriculture, improve raw material processing, develop infrastructure, and attract international support, is integral to building a resilient food system. By promoting awareness and sustainable practices while addressing structural challenges, nations can ensure food security for their populations, even in the face of emergencies or long-term crises.

Conclusion. The food security is an essential pillar of national security, encompassing various dimensions such as availability, accessibility, stability, and the proper use of food. It is a multi-faceted concept that requires a comprehensive approach, particularly in emergency situations where disruptions to food systems can have severe consequences for people. The importance of ensuring access to safe, nutritious, and high-quality food is evident while also addressing the technological, regulatory, and economic factors that underpin a resilient and sustainable food system.

The foundation of food security lies in the modernization of the agricultural sector, which includes the adoption of innovative technologies and sustainable practices to increase productivity, efficiency, and environmental sustainability. The expanding agro-processing capacities and improving infrastructure are key steps in ensuring that food products are properly stored, processed, and distributed, reducing post-harvest losses and enhancing the supply of value-added products. Such developments not only mitigate the risk of food shortages but also strengthen the overall agro-food complex, contributing to national economic growth and resilience.

Amid crises, the coordinated efforts at the state, local, and international levels are critical to maintaining food security. The integration of early warning systems, data management technologies, and monitoring frameworks enables timely responses to emerging threats and ensures that food resources are allocated effectively. Equally important is the support for local production systems, which enhances food system resilience by reducing reliance on external supplies and promoting self-sufficiency.

Another key takeaway is the importance of addressing the needs of the most vulnerable populations during crises. Social support programs, such as food assistance and nutrition initiatives for children and the elderly, play a vital role in ensuring that no one is left behind. These programs, combined with community-based initiatives, help to mitigate the effects of food insecurity for the people especially affected by economic or environmental disruptions.

The public education programs focused on food safety, sustainable consumption, and the rational use of resources are indispensable for raising awareness and fostering responsible behaviors among individuals and communities. By promoting healthy eating habits and sustainable agricultural practices, these programs contribute to a more resilient and sustainable food system.

It can be stated that ensuring food security requires an integrated and holistic approach that addresses both immediate and long-term challenges. From modernizing agriculture to promoting sustainable practices, supporting local initiatives, and leveraging international cooperation, the strategies outlined in this article provide a roadmap for enhancing food security and resilience, particularly in the face of emergencies and global challenges. By fostering collaboration across sectors and scales, nations can safeguard the food security of their populations and promote the sustainable development of their agricultural and food systems.

References

1. FAO. Rome Declaration on World Food Security and World Food Summit: Plan of Action. Official document. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 1996.
2. Peng, W., Berry, E. M. (2019) The Concept of Food Security. *Encyclopedia of Food Security and Sustainability*. P. 1–7. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.22314-7>.
3. Raven, B., Stewart-Withers, R. (2019). Using critical discourse analysis and the concept of food security to understand pregnant women's nutrition in Aotearoa/New Zealand. *New Zealand College of Midwives Journal*. 55, 35–43. <https://doi.org/10.12784/nzcomjnl55.2019.5.35-43>.
4. Clapp, J., Moseley, W. G., Burlingame, B. & Termine, P. (2022). The case for a six-dimensional food security framework. *Food Policy*. V. 106, P. 102164. <https://doi.org/10.1016/j.foodpol.2021.102164>.
5. Santeramo, F. G. (2024) Research in agriculture and food security: retrospects and prospects. *Agric & Food Secur.* 13, 42. <https://doi.org/10.1186/s40066-024-00495-z>.
6. Pawlak, K., Kołodziejczak, M. (2020). The Role of Agriculture in Ensuring Food Security in Developing Countries: Considerations in the Context of the Problem of Sustainable Food Production. *Sustainability*. 12 (13), 5488. <https://doi.org/10.3390/su12135488>.
7. Allata, S., Valero, A. & Benhadja, L. (2017). Implementation of traceability and food safety systems (HACCP) under the ISO 22000:2005 standard in North Africa: The case study of an ice cream company in Algeria. *Food Control*, V. 79, P. 239–253, <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2017.04.002>.
8. Figurek, A. & Thrassou, A. (2023) An Integrated Framework for Sustainable Development in Agri-Food SMEs. *Sustainability*. 15 (12), P. 9387. <https://doi.org/10.3390/su15129387>.
9. Gitz, V., Meybeck, A., Lipper, L., Young, C. D., Braatz, S. (2016). Climate change and food security: Risks and responses. Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) Report, 110 (2), 3–36.
10. Altieri, M. A. (2016). Developing and promoting agroecological innovations within country program strategies to address agroecosystem resilience in production landscapes: a guide: Global Environment Facility-Small Grant Programme. Available at <http://foodfirst.org/wp-content/uploads/2016/02/latest-version-guidance-note-GEF-SGP.pdf>.
11. Booth, S., Pollard, C. M., Pulker, C. E. (2022). Citizen-Driven Food System Approaches in Cities. In: Galanakis, C.M. (eds) *Environment and Climate-smart Food Production*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-71571-7_11.
12. Reisch, L., Eberle, U., Lorek, S. (2013). Sustainable food consumption: an overview of contemporary issues and policies. *Sustainability: Science, Practice and Policy*, 9 (2), P. 7–25. <https://doi.org/10.1080/15487733.2013.11908111>.
13. Kovalenko, O., Yashchenko, L., Verbytskyi, S., Patsera, N. (2022) Economic, technical and regulatory aspects of food security amid emergencies. *Vector European*, 2, P. 57–65. <https://doi.org/10.52507/2345-1106.2022-2.12>.

УДК 338.439.5

ВПЛИВ СИСТЕМНИХ ЗМІН В ЕКОНОМІЦІ УКРАЇНИ НА ФОРМУВАННЯ АГРОПРОДОВОЛЬЧИХ ЛАНЦЮГІВ СТВОРЕННЯ ВАРТОСТІ**Бокій О. В.**, к.е.н., с.н.с.

відділу економічних досліджень,

<https://orcid.org/0000-0001-9916-1856>

Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-27>

Предмет. Економічні процеси на ринку продовольства та системні зміни в економіці країни. **Мета.** Виявлення та систематизація системних змін в економіці, що впливають на ланцюги створення вартості (ЛСВ) харчової продукції. **Метод.** Для виконання досліджень використано методи: діалектичний, статистичний – для оцінки тенденцій зміни макроекономічних показників і показників діяльності харчової промисловості; системного узагальнення – для структуризації та класифікації чинників системних змін в економіці, що впливають на ЛСВ; порівнянь – для співставлення показників розвитку економіки, харчової продукції та сировини для її виготовлення. **Результати.** Надано ретроспективу системних змін і кризових явищ в економіці країни, що вплинули на розвиток ланцюгів створення вартості харчової продукції. Співставлено тенденції зміни макроекономічних індикаторів і показників ЛСВ. Оцінено рівень купівельної спроможності населення у перерахунку на харчові продукти та її динаміку на етапах системних змін. Розроблено класифікацію чинників впливу системних змін на формування ланцюгів створення вартості харчової продукції. Запропонована класифікація може слугувати дієвим інструментом для визначення напрямів розвитку харчової промисловості, а також для розроблення цілеспрямованого комплексу заходів і засобів аграрної політики для стимулювання ланцюгів створення вартості харчової продукції. **Сфера застосування результатів.** Призначено для наукових працівників, виробничих холдингів та органів державного управління. Результати можуть бути використані в подальших наукових дослідженнях та рекомендаціях щодо покращення діяльності ланцюгів доданої вартості харчової продукції.

Ключові слова: ланцюги створення вартості, харчова продукція, розвиток економіки, чинники системних змін, кризові явища, стимулювання розвитку

THE IMPACT OF SYSTEMIC CHANGES IN THE ECONOMY OF UKRAINE ON THE FORMATION OF AGRI-FOOD CHAINS OF VALUE CREATION**Olena Boki, PhD, Economics, Senior Researcher**
of the Department of Economic Research<https://orcid.org/0000-0001-9916-1856>

Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

Subject. Economic processes in the food market and systemic changes in the country's economy. **Purpose.** Identification and systematization of systemic changes in the economy that affect food value added chains (VAD). **Methods.** To carry out research, the following methods were used: dialectical, statistical – to assess the trends of changes in macroeconomic indicators and indicators of food industry activity; systemic generalization – for the structuring and classification of the factors of systemic changes in the economy that affect the food value added chains; comparisons – to compare indicators of economic development, food products and raw materials for their production. **Results.** A retrospective of systemic changes and crisis phenomena in the country's economy, which affected the development of food value added chains, is provided. The trends of changes in macroeconomic indicators and indicators of VAD are compared. The level of the population's purchasing power in terms of food products and its dynamics at the stages of systemic changes were assessed. A classification of the factors influencing the system changes on the formation of food value chains has been developed. The proposed classification can serve as an effective tool for determining the directions of the development of the food industry, as well as for the development of a targeted set of measures and means of agrarian policy to stimulate food value chains. **Scope of results.** Intended for scientific workers, industrial holdings and state administration

bodies. The results can be used in further scientific research and recommendations for improving the activity of food value added chains.

Key words: value chains, food products, economic development, factors of systemic changes, crisis phenomena, development stimulation

Постановка проблеми. Продовольчий сектор і харчова промисловість у його складі є невід’ємною складовою економіки країни і розвиваються у складі економічної системи під впливом внутрішніх та зовнішніх чинників, економічних трансформацій і системних змін. Продукція агропромислового комплексу (АПК) відіграє важливу роль в економіці країни. Адже частка експорту продукції АПК у загальному експорті продукції 2022 р. сягала 53%, у 2023 р. – 60,8%. Харчова промисловість реалізувала у 2023 році 21% промислової продукції країни, а частка доданої вартості харчової промисловості і сільського господарства у доданій вартості країни у 2022–2023 рр. відповідала 12,1 і 10,3% [1].

У періоди росту основних макроекономічних показників активізується діяльність національної продовольчої системи і підприємств виробничо-бутового ланцюга у її складі і навпаки, кризові явища зазвичай призводять до падіння харчового виробництва та загострення проблем. Суттєво вплинули на продовольчий сектор економічні і політичні трансформації на шляху розвитку України. Від повномасштабної агресії російської федерації 2022 року, відбулися руйнівні процеси в усіх сферах життя економіки та суспільства. Тому нагальною є проблематика дослідження впливу системних чинників на розвиток ланцюгів створення вартості харчової продукції та ефективної діяльності харчової промисловості у складі агропродовольчого сектора України.

Проблеми діяльності продовольчих ланцюгів в умовах трансформаційних змін, а також кризові і системні явища і процеси висвітлювали у своїх роботах вітчизняні та зарубіжні вчені. Зокрема, О. Коваленко та А. Кириченко оцінили трансформації глобальних логістичних продовольчих ланцюгів в умовах військової агресії російської федерації в Україні та наголосили наважливості відновлення інфраструктури, пошуку альтернатив порушеним ланцюгам, усунення бар’єрів міжнародної торгівлі та інвестицій в цифровізацію логістики [2].

М. Сичевський із співавторами (2022) оцінили стійкість економічного розвитку глобальних продовольчих ринків в умовах глобалізації та запропонували підходи до вимірювання сталого розвитку продовольчих ринків на національному рівні, що дозволить оптимізувати і ланцюги створення вартості продовольства [3].

На думку О. Куця із співавторами, в умовах глобальних викликів необхідно вдосконалювати засади та напрями державної економічної політики, яка має бути спрямована на зміцнення продовольчого ринку та розвиток експорту продукції, узгодженість дій усіх ланок ланцюга «виробництво – переробка – реалізація» [4].

О. Шпичак із співавторами обґрунтували трансформації і додану вартість у молокопереробній галузі та довели необхідність реорганізації і концентрації молочних господарств в Україні [5].

Серед зарубіжних вчених питання ланцюгів створення вартості і впливу дослідили А. Samoggia та Z. Beyhan відмітили несправедливість розподілу доходів на ділянках ланцюгів створення вартості в умовах сучасних змін і відмітили необхідність підтримки фермерів [6]. Для стійких та ефективних продовольчих систем саме справедливий розподіл прибутків і праці має важливе значення.

Mu J. та Zhu Q. Z. оцінили роль спільного соціального управління у продовольчих ланцюгах шляхом вертикальної та горизонтальної інтеграції. Соціальне управління сприймається авторами як ефективний спосіб горизонтальної співпраці учасників ланцюга і має максимальну користь від створення спільного бренду [7].

Tukamuhabwa B. R. (2023) дослідив ризики та ефективність ланцюгів поставок агропродовольчої продукції та підкреслив важливість управління ризиками ланцюгів постачання продукції, особливо для країн, що розвиваються [8].

Розвитку агропродовольчої галузі в період системної трансформації та членству Польщі в Європейському Союзі й глобалізації світової економіки присвячено дослідження Szajner P. та Szczepaniak I. Вчені дійшли до висновку, що трансформація продовольчого сектору і ланцюгів доданої вартості харчової продукції відбувалася завдяки процесам євроінтеграції та глобалізації, фінансуванню коштами Європейського Союзу після приєднання країни, модернізації виробництва і прямим інвестиціям. Зростання експорту продовольчої продукції супроводжувалося зростанням попиту на внутрішньому ринку і стало ключовим фактором розвитку галузі [9].

З точки зору оцінки макроекономічної ситуації, викликає науковий інтерес робота Н. Ballouk із співавторами, присвячена чинникам стійкості фінансової безпеки і ризикам, пов'язаним зі зміною клімату [10]. Адже залежність від кліматичних змін притаманна і продовольчим ланцюгам. Водночас питання узагальнення системних змін в економіці, що впливають на формування ланцюгів створення вартості харчової продукції, потребують більш поглиблених досліджень та узагальнення.

Мета дослідження – виявити та систематизувати системні зміни в економіці, що впливають на ланцюги створення вартості харчової продукції.

Матеріали та методи. Основою досліджень слугують діалектичні методи наукового пізнання, зокрема для оцінки макроекономічних показників і показників діяльності харчової промисловості застосовано діалектичний і статистичний методи, для розроблення класифікації системних змін в економіці використано метод системного узагальнення, для співставлення показників розвитку економіки, харчової продукції та сировини для її виготовлення – метод порівнянь.

Виклад основних результатів дослідження. Системні зміни в Україні і світі, які сприяють розвитку економік, відбуваються на всіх ланках національного господарства і, за сприятливих умов, активізують виробничо-збутові процеси у ланцюгах створення вартості продовольчої продукції. *Системними* можна вважати зміни, які призводять до нового поштовху чи напряму розвитку країни і можуть охоплювати економічні, політичні, техніко-технологічні, екологічні, соціальні, інформаційні або інші складові. Такі зміни можна розглядати з точки зору позитивного та негативного розвитку.

Вектор позитивного розвитку – сприяє прогресу країн світу. Зокрема, зміни економічних укладів; промислові революції; перехід до економік сталого стану, запровадження «зеленої» економіки та Revolution 5,0. Найбільш всеохоплюючим визначенням «зеленої» економіки можна вважати підходи Програми ООН з навколишнього середовища UNEP (United Nations Environment Programme) 2011 року, як економіки, що забезпечує довгострокове підвищення добробуту людей і скорочення нерівності, при цьому дозволяючи майбутнім поколінням уникнути істотних ризиків для довкілля та його зuboжіння. Підходи до «зеленої економіки» відповідають і поняттю економіки сталого стану, тобто стану сталого розвитку, який, згідно зі звітом «Наше спільне майбутнє» (Гру Харлем Брундланд 1987) трактується як «Розвиток, який задовольняє потреби теперішнього часу, проте не ставить під загрозу здатність майбутніх поколінь задовольняти свої власні потреби» [11,12].

Системні зміни мають бути спрямовані на досягнення продовольчої безпеки, яку, за визначенням продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (ФАО), яке закріплене і в Стратегії продовольчої безпеки України до 2027 року, можна трактувати як систему, яка чітко функціонує для забезпечення всіх прошарків населення харчовими продуктами за прийнятими фізіологічними нормами за рахунок власного виробництва та необхідного імпорту тих продуктів харчування, для виробництва яких відсутні внутрішні умови.

Попередній досвід системних змін і трансформацій постсоціалістичних країн передбачав переважно три моделі – соціально орієнтованої економіки на базі існуючої адміністративної системи, за прикладом Китаю, Монголії; «шокову терапію» (на прикладі Польщі); еволюційне перетворення на шляху до ринкової економіки, за прикладом Чехії або Угорщини [13].

На етапі здобуття незалежності України розпочався перехід від планової директивної до ліберальної ринкової економіки. Від початку шляху, у 1991-1994 рр. в Україні та сусідніх пострадянських країнах відбувся період «шокової терапії». Україна стала членом Міжнародного валютного фонду. Через відсутність дієвих заходів захисту ринку, станом на квітень 1992 р. обсяг промислової продукції зменшився на 14%, а продовольчої – більше ніж на 30%. За межею бідності було понад 60% населення, збільшилося розшарування суспільства. Політична та соціально-економічна криза в Україні 1993–1994 рр. призвела до рекордного (10206%) рівня інфляції, скорочення промислового виробництва у 1993 р. до 82% від обсягів 1990 р., національного доходу – до 60,6%. Водночас виробництво продовольчих товарів знизилося до 65,4% обсягів попереднього року [1].

Станом на 1994 р., за розрахунками Світового банку, індекс адміністративного регулювання економіки більше ніж удвічі перевищив показники 1993 р. Виробництво промислової продукції скоротилося прискореними темпами і сягало за 6 місяців 1994 р. лише 36% обсягів аналогічного періоду попереднього року, а рівень тіньової економіки країни становив 60%. Для виходу з кризових явищ, у 1994 році біло проголошено соціально-економічний курс на *нову економічну стратегію*, якою наголошувалося, що виходу із кризи сприятимуть прискорені економічні реформи у галузі фінансової системи, лібералізації цін, прискорення процесів приватизації та децентралізації, модернізації виробництва та соціального захисту населення. Водночас через лібералізацію цін на продовольство і недосконалий механізм компенсації їх зростання, суттєво знизилася купівельна спроможність населення і відповідно його продовольча забезпеченість та рівень життя. Антикризові заходи з урахуванням ситуації, що склалася, сформувалися після прийняття у 1996 році першої Конституції України. У вересні 1996 р. було реалізовано грошову реформу і введено національну валюту – гривню. На розвиток іноземних та вітчизняних інвестицій та збільшення експорту продукції, в тому числі аграрної, вплинуло створення вільних економічних зон в Україні [13–15].

У 1995 р. рівень інфляції знизився до 182%. Україна стала постійним членом Ради Європи, було започатковано ринок цінних паперів. Прискорилися процеси приватизації. Однак заходів, які запроваджувалися, було недостатньо для повноцінного відродження економіки і продовольчого сектора, особливо у порівнянні з країнами Центральної Європи та Балтії. У вересні 1996 р. було проведено грошову реформу і введено національну валюту – гривню. У 1997 р. в країні було започатковано лізинг продукції та обладнання із прийняттям відповідного законодавства, що суттєво допомогло учасникам ланцюгів створення вартості – сільськогосподарським і переробним підприємствам аграрної продукції. У цьому ж році створено Єдиний державний реєстр підприємств та організацій України, введено в дію Державний Класифікатор послуг зовнішньоекономічної діяльності.

Водночас, під впливом світової фінансової кризи 1998 р., погіршилася вітчизняна економіка, і у 1999 р. валютний курс гривні знецінився майже на 79%. Завдяки заходам подолання кризових явищ, виходу на вітчизняний ринок іноземних компаній (зокрема мережі «Billa»), жорсткому щотижневому контролю Національного Банку України балансів комерційних банків та міжнародній допомозі, у 2000–2004 рр. банківська система відносно стабілізувалася поступово зростали ВВП і реальні доходи населення.

У продовольчому ланцюгу, для збільшення доданої вартості експорту, у 1999 р. було введено експортне мито на насіння соняшника у розмірі 23%. Підприємствам стало

недоцільно експортувати насіння. Як результат, у 2000 році виробництво соняшникової олії зросло від 0,6 до 1,4 млн т, прискорилося будівництво заводів з переробки соняшника і виготовлення олії. На сьогодні частка насіння соняшника в експорті олійної продукції є незначною, а Україна стала світовим лідером з експорту соняшникової олії [1].

У двохтисячних роках двадцять першого століття виробництво харчової продукції зростало в середньому більше ніж на десять відсотків за рік, завдяки процесам приватизації та зваженій економічній політиці. Після кризи 2008-2009 рр., коли харчове виробництво знизилося відповідно на 2 і 7,5%, щорічні темпи росту виробництва знизилися до 1-5%. Політична криза в Україні 2004–2005 рр. спровокувала кризові явища у національному господарстві, однак виробництво харчової продукції зростало стабільними темпами. Завдяки «помаранчевій революції» та зміні політичного укладу, Україну у 2005 році було визнано країною з ринковою економікою, почалися переговори між Україною і ЄС щодо асоційованого членства. Україна стала членом Світової організації торгівлі у 2008 р., зріс експорт продовольства.

Через світову фінансову кризу 2008–2009 р., до якої в Україні додалася політична, ВВП країни знизився на 15%; до 25% зросла інфляція, більше ніж удвічі девальвувала гривня. Індекс споживчих цін на харчові продукти та безалкогольні напої у 2008 р. суттєво випереджав інфляцію (36 проти 25%). Від 2000 року найгіршими були показники інфляції у кризові періоди 2008, 2015 і 2022 року (рис. 1, 2). Для подолання кризових явищ були задіяні фінансові, організаційні і політичні важелі, включно з кредитом від Міжнародного валютного фонду.



Рис. 1. Динаміка індексів споживчих цін, % до попереднього року

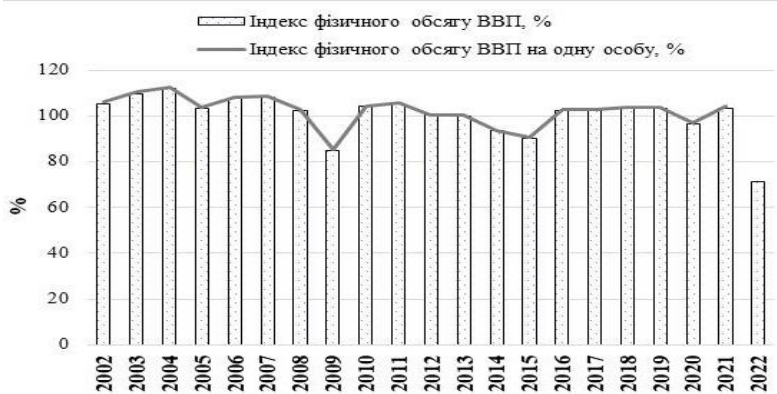


Рис. 2. Динаміка індексів фізичного обсягу ВВП, % до попереднього року

Джерело: сформовано за даними Держстату України на 2 місяця. Водночас, завдяки збільшенню зарплат та пенсій, у 2012 році майже на 10% зросли реальні доходи населення. Загалом, після кризи 2009 р. виробництво харчової

У двохтисячних роках найбільше падіння ВВП відбулося у кризових 2009 і 2022 рр. Відповідали темпам падіння ВВП і показники на одну особу [1]. У харчовому виробництві лише за 2008 р. на 8,7% скоротилося виробництво м'яса свійської птиці, на 16% – олії, але на 4,2% зросло виробництво борошна. У продовольчій групі у 2008 р. найбільше постраждав експорт м'яса і м'ясної продукції – на 29% у вартісному вимірі, а у 2009 р. – молочної (на 31%).

Після зміни влади в Україні, від 2010 року мали місце процеси часткової реакції та зворотних політичних процесів. У міжнародному рейтингу «Doing business 2011» Україна зайняла 152 місце серед 183 країн, поступившись за рік

продукції скорочувалося у 2013–2015 рр., а також після пандемії і військової агресії російської федерації, у 2020 і 2022 рр.

У 2014 році економіка зазнала суттєвих втрат через війну на сході України і тимчасову окупацію АР Крим. Внаслідок політичної кризи в Україні у 2013-2014 рр., яка завершилася «революцією гідності», реальний ВВП країни скоротився за рік майже на 7%. На 11,5% зменшився експорт продовольства, насамперед через припинення постачання харчових продуктів до росії. Водночас на 2,8% зросло виробництво сільськогосподарської продукції. За два роки (2014-2015 рр.) ВВП країни скоротився майже на 16%. Впродовж 2013-2015 рр. утричі зріс державний борг, курс долара відносно гривні теж зріс утричі – з 8 до 24 грн. Скоротилися обсяги виробництва продукції і кількість підприємств. По харчовій промисловості в цілому у 2014 році був приріст виробництва на 2,5% (без урахування тимчасово окупованих територій), у наступному, 2015 р. виробництво скоротилося на 10,9%, відбувся один із найбільших спадів харчового виробництва за останнє десятиріччя, за винятком 2022 року.

Підґрунтям подальших системних змін на майбутнє став обраний Україною і відстоюваний у «помаранчевій революції» курс країни на євроінтеграцію. Угоду про Асоціацію з ЄС було підписано у 2014 році. Від 2016 року почала діяти Угода про вільну торгівлю, якою передбачено поступову відміну зв'язних мит на продовольство та інші заходи, що сприяють розвитку економіки країни. Наступні роки характеризувалися поступовим економічним зростанням, запровадженням заходів у межах Угоди про Асоціацію з Європейським Союзом. Вже у 2016 році експорт олії зріс на 20% у вартісному вимірі, у 2017 р. – на 16%. Експорт молочної продукції, після скорочення у 2016 р. на 14%, у 2017 р. зріс на 50%.

Позитивними чинниками подальших системних змін були початок процесу децентралізації від 2014 р. і полегшення роботи бізнесу від 2015 році завдяки скороченню кількості документів при реєстрації підприємств і приведенню фінансової звітності у відповідність до європейської. Але у продовольчому секторі зміни відбувалися поступово. У 2016-2017 рр. країна почала виходити з кризи. Індекс виробництва продукції харчової промисловості, після скорочення у 2015 р. до 86,9% показника попереднього року, зріс до 107,4% у 2016 р. і 106,3% – у 2017 р. Найбільше у 2016 р. зросли обсяги перероблення риби – на 28,6%.

У 2019 р. стабілізувався курс гривні, Україна зміцнила лідерство експорту аграрної продукції і зайняла третє місце серед експортерів до Європейського Союзу. Завдяки децентралізації, місцеві бюджети зросли до семи разів. На той час у продовольчому ланцюгу тваринництва було застосовано заходи з детінізації ринку, що сприяло збільшенню надходжень до бюджету та макроекономічній стабільності. За кожного зареєстрованого теля держава почала сплачувати 1,5 тис. грн і в результаті їх реєстрація зросла у 7 разів. У подальшому виплати було зменшено до 900 грн. За 2019 рік найбільше зросло виробництво олії і тваринних жирів (на 13,7%), цукрових кондитерських виробів (11,3%) і безалкогольних напоїв (7,7%). На 33% зріс експорт зернових.

На початку 2020 року, через пандемію COVID 19, Україну і світ знов охопили кризові явища. Відбулася глобальна криза ланцюгів постачання продовольчої продукції, насамперед через карантинні заходи, необхідність ретельної перевірки вантажів і відсутність робітників на підприємствах. Зросли ціни і дефіцит продуктів, мали місце імпульсивні закупівлі харчової продукції населенням. Для подолання ситуації, що склалася, в Україні було введено обмеження на імпорту життєво важливого продовольства.

У продовольчому секторі Україні вдалося утримати показники експорту аграрної сировини і продовольства на рівні 2019 р. – 22 млн дол. США, насамперед за рахунок зернових та олійних культур. Однак суттєво зменшився експорт продовольства з високою доданою вартістю: молочної продукції – на 3%, м'ясної – на 8%, борошномельно-круп'яної – на 40%, з неї борошна – на 37% (від 365 до 221 тис. т).

У пандемійний 2020 рік харчова промисловість продемонструвала більшу стійкість, у порівнянні з переробною (99,2% проти 94,1% обсягів промислового виробництва відповідно до 2019 р.), а у воєнному 2022 році співвідношення становило 78,4% по харчовій проти 59% по переробній промисловості. За продукцією переробки рослинницької сировини у 2022 році (за винятком цукру, виробництво якого залежить від внутрішньої та зовнішньої кон'юнктури), табл. 1.

Таблиця 1

Зміна промислового виробництва продукції переробки рослинництва і тваринництва у кризові роки, % до попереднього року

Період	Продукція рослинництва, % ^{1,2)}				Продукція тваринництва, % ^{1,2)}	
	Хлібобулочні, борошняні вироби, тис. т	Борошно і крупи, тис. т	Олія і тваринні жири, тис. т	Цукор, тис. т	М'ясо та м'ясні продукти, тис. т	Молочні продукти, тис. т
2004 до 2003, %	-1,2	5,2	7,8	-13,7	нд	нд
2009 до 2008, %	-8,9	-6,3	27,2	-19,1	-10,7	-9,7
2015 до 2014, %	-12,6	-5,3	-14,1	-30,9	0,2	-8,3
2020 до 2019, %	-4,7	-13,0	4,8	-33,0	0,0	0,2
2022 до 2021, %	-19,6	-12,8	-24,7	-9,0	-11,0	-20,4

Джерело: сформовано за даними Держстату України

¹⁾ за видами діяльності, за 2004 р. – за основною продукцією

²⁾ за 2014–2022 рр. без урахування АР Крим, частин Донецької і Луганської областей

У галузі сільськогосподарського рослинництва виробництво зернових культур коливалося через урожайність та кризи, але в цілому мало тенденцію зростання завдяки світовій кон'юктурі та збільшенню експорту. У 2022 році виробництво знизилося найбільш стрімко – на 37,4%, через бойові дії, забрудненість та втрату територій.

У період кризи 2014–2015 рр. випереджаючими темпами знизилися обсяги цукрових буряків і картоплі. Насіння соняшника скоротилося за рік майже на третину у 2004 і 2022 рр. Найменш чутливим до війни в Україні 2022 року було виробництво картоплі (табл. 2).

Таблиця 2

Динаміка зміни виробництва продукції рослинництва у кризові роки, %

Період	Зернові та зернобобові, тис. т	Буряк цукровий, тис. т	Соняшник, тис. т	Картопля, тис. т	Овочеві культур и, тис. т	Плодово-ягідні культури, тис. т
2004 до 2003, %	106,6	24,0	-28,3	12,5	6,5	-3,7
2009 до 2008, %	-13,6	-25,1	-2,5	0,6	4,7	7,6
2015 до 2014, %	-5,8	-34,3	10,3	-12,0	-4,4	7,7
2020 до 2019, %	-13,6	-10,3	-14,1	2,8	-0,4	-4,5
2022 до 2021, %	-37,4	-8,4	-30,9	-2,1	-24,4	-10,7

Джерело: сформовано за даними Держстату України

За всі кризові роки найбільш відчутною була зміна виробництва яєць, найбільш стрімке скорочення виробництва продукції спостерігалось у 2022 році (табл. 3).

Загалом, прояви кризових явищ у сировинній ланці ланцюга (сільському господарстві) і харчовій промисловості були нерівномірними. Якщо у сільському господарстві мало місце скорочення виробництва до 2000 року, у харчовій промисловості, після посткризового 1995 р., відбулося поступове зростання виробництва. У наступному періоді спостерігалось зростання виробництва продукції рослинництва, насамперед

орієнтованих на експорт зернових і олійних, збільшення виробництва експортоорієнтованого м'яса птиці.

Таблиця 3

Динаміка зміни виробництва продукції тваринництва у кризові роки, %

Період	М'ясо у забійній масі, тис. т	Молоко, тис. т	Яйця, млн шт
2004 до 2003, %	-7,3	0,4	4,2
2009 до 2008, %	0,6	-1,3	6,4
2015 до 2014, %	-1,6	-4,6	-14,3
2020 до 2019, %	0,6	-4,1	-3,1
2022 до 2021, %	-9,5	-10,9	-15,3

Найбільш негативні зміни в економіці країни та її продовольчому секторі за останні роки зумовлені повномасштабним вторгненням російської федерації в Україну від лютого 2022 року. ВВП країни скоротився за рік до 71,2% від попереднього періоду. Інфляція сягнула 20,2%, а на харчові продукти та безалкогольні напої – 26,6%, а у 2023 році показники несуттєво

знизилися – відповідно до 12,9% і 14,7%. Скорочення виробництва харчової продукції у вартісному вимірі, попри значну інфляцію, становила у 2022 році 9,6%, а в Миколаївській, Харківській і Донецькій областях – більше 40%

Фінансові результати підприємств слугують індикаторами ефективності їх роботи. Рентабельність всієї діяльності підприємств харчової промисловості за останній період була найкращою у 2019 році (3,6%), також 2012 та 2021 рр. (2,5%), а найгіршою – у кризових 2014–2015 рр. (-4,5 і -3,3%). На період воєнного стану, у 2022 році збитковість роботи харчових підприємств дорівнювала -0,1%, найгірше спрацювали підприємства з переробки картоплі (-9,7%), експортоорієнтованого м'яса птиці (-6,5%), а найкраще – виробники дитячого харчування (10,7%), шоколаду та кондитерських виробів (9,0%).

З точки зору продовольчого забезпечення населення, у якому задіяні ланцюги створення вартості харчової продукції, важливе місце займають рівень доходів та купівельна спроможність мешканців України. Дієвий показник добробуту населення – середня заробітна плата, яка зростала, за виключенням 2022 року. У перерахунку на валюту (дол. США) зниження заробітної плати спостерігалось в кризових 2009 і 2014 рр. З точки зору купівельної спроможності (кількості продукції, яку можна купити за середню заробітну плату) у 2022 році спостерігалось зниження індикатора на 20-26% по всіх видах продукції, які досліджувалися (крім крупи гречаної – 45,2%), табл. 4.

Випереджаючий ріст цін на продовольство зумовлений здорожчанням і дефіцитом ресурсів, а також реакцією ринку на надзвичайні виклики. У 2023 році ситуація покращилася, але не досягла довоєнного рівня, що свідчить про необхідність вжиття заходів для стабілізації ситуації.

За результатами опитування агентства Info Sapiens, станом на лютий 2022 р. 8,2% мешканців України були безробітними, а на їжі економили 11,4%, а у травні показники зросли відповідно до 30,7 і 30,3%. У вересні 2024 року рівень безробіття в Україні сягав 15,4%, економія на їжі – 24,2% населення.

Проведені дослідження, аналіз викликів і можливостей для ланцюгів створення вартості (ЛСВ) в Україні надали можливість класифікувати чинники позитивного впливу системних змін на формування ланцюгів створення вартості харчової продукції. Чинники впливу класифіковано за 9 основними напрямками, які найбільше впливають на діяльність аграрного сектора та ЛСВ харчової продукції (табл. 5).

Таблиця 4

Динаміка купівельної спроможності у перерахунку на харчові продукти

Продукція	2019	2020	2021	2022	2023	2022 до 2021,%	2023 до 2022,%	2023 до 2019,%
<i>Середня заробітна плата, грн/міс.</i>	10497	11591	14014	13376	17442	-4,6	30,4	66,2
Купівельна спроможність у перерахунку на харчові продукти, кг								
Хліб пшеничний з борошна вищого гатунку	450	462	464	353	414	-24,0	17,3	-8,0
Хліб пшеничний з борошна першого гатунку	557	573	583	432	498	-26,0	15,4	-10,6
Батон	784	824	854	665	778	-22,1	17,0	-0,8
Борошно пшеничне	906	993	981	781	1070	-20,5	37,1	18,1
Крупи гречані	535	332	333	183	349	-45,2	90,9	-34,8
Яловичина	81	82	85	65	79	-23,5	21,1	-2,5
Свинина	89	98	116	92	93	-21,2	1,1	4,3
Філе куряче	99	130	129	102	115	-21,4	12,9	16,4
Ковбаси варені	109	115	126	96	115	-23,7	19,5	5,3
Молоко пастеризоване	429	462	525	418	482	-20,3	15,4	12,6

Джерело: сформовано за даними Держстату України

Таблиця 5

Класифікація чинників позитивного впливу системних змін на формування ланцюгів створення вартості харчової продукції

Чинники впливу	Ділянка ЛСВ	Позитивні зміни	Стан, що передус
Форма власності, монополії			
Приватизація підприємств	Виробництво – переробка–реалізація	Хазяїн – ефективний власник	До незалежності 83% підприємств підпорядковувалися Союзу
Ліквідація державної монополії зовнішньої торгівлі (кінець 80-х років)	Постачання продукції	Оптимізація зовнішньоекономічної діяльності, ріст експорту, зростання доходу	Монополія на зовнішню торгівлю, підприємство не мало можливості напряду виходити на експортера та імпортера
Земельна реформа, розпаювання та можливість оренди	Виробництво сировини	Селянин – хазяїн землі, можливість розвитку бізнесу. Конкурентні ціни	Директивна економіка, що обмежувала господарську діяльність
Стан бізнес-середовища			
Послаблення контролю за валютними операціями (кінець 80-х років)	Постачання (продаж)	Збільшення можливостей експорту та імпорту продукції	Жорсткий контроль операцій з валютою та дорогоцінними металами
Створення малого бізнесу та його підтримка	Виробництво – переробка–реалізація	Підтримка приватної ініціативи, збільшення робочих місць, доходів підприємців, насичення ринку продукцією	Переважаючі традиційних промислових підприємств
Спрощення дозвільної документації для бізнесу		Полегшення роботи бізнесу	Утруднення роботи бізнесу, уповільнення виробничо-збутових процесів
Детінізація ринку та бізнесу		Відкритість ринку та добросовісна конкуренція, рівні вимоги для всіх виробників	Недобросовісна конкуренція, погіршення якості продукції

Продовження таблиці 5

Чинники впливу	Ділянка ЛСВ	Позитивні зміни	Стан, що передус
Зміна організаційно-економічних форм урядування			
Урбанізація	Виробництво – переробка– реалізація	Синергія виробництва та інфраструктури	Обмежені можливості виробництва та реалізації продукції у сільській місцевості
Децентралізація		Збільшення бюджетів і можливостей місцевих громад, можливість випуску продукції на потребу громад	Централізований розподіл коштів та ресурсів без урахування потреб громад
Глобалізація		Розширення іноземних запозичень продукції і технологій на внутрішній ринок	Орієнтація продукції і досягнень на локальні ринки збуту. Утруднення обміну передовим досвідом
Інтеграційні процеси		Вертикальні та горизонтальні об'єднання учасників ЛСВ з метою отримання прибутку. Виробництво продукції замкненого циклу.	Неузгоджені дії учасників ЛСВ
Розвиток науково-технічного прогресу			
Industrie 5,0		Поєднання з зеленим курсом, стала циркулярна економіка, стійкість екосистем та ЛСВ до потрясінь	Діючий цикл виробництва, переробки та реалізації
Цифровізація	Виробництво – переробка– реалізація	Оптимізація та прискорення виробничо-збутових процесів та діяльності інфраструктури	Традиційні та аналогові системи зв'язку і технологічних процесів
Технологічні, продуктові та логістичні інновації		Оптимізація виробничо-збутових процесів, покращення якості продукції	Технічні, технологічні та логістичні «вузькі місця» ЛСВ
Сільськогосподарські інновації, ефективне використання земель	Виробництво сировини	Підвищення ефективності роботи сировинної ланки. Використання резервів перероблення продукції, екологічна безпека	Недостатнє впровадження сільськогосподарських інновацій
Євроінтеграція та європейський курс країни			
Підписання та імплементація Угоди про Асоціацію з ЄС	Виробництво – переробка– реалізація	Комплекс заходів з виконання Україною Угоди про Асоціацію з ЄС; в т. ч. спрощення кордонів, імплементація законодавства, покращення якості технологічних процесів і продукції; зростання експорту	Невідповідність ЛСВ вимогам сучасності
Гармонізація законодавства		Спрощення умов роботи з іноземними партнерами, оптимізація документообігу	Невідповідність вітчизняних форм звітності зарубіжним
Запровадження HACCP, ISO		Досягнення стандартів якості та безпечності харчової продукції	Традиційна система контролю якості продукції, яка не охоплює всі етапи технологічного ланцюга
Енергонезалежність, циркулярна економіка			
Зелена енергетика	Виробництво – переробка– реалізація	Незалежність та екологічність енергоресурсів	Традиційна електроенергія, залежність від централізованого постачання
Стимулювання глибокої переробки сировини та відходів	Переробка, реалізація	Отримання високої доданої вартості, збільшення доходів підприємств та зайнятості населення	Недоотримання доданої вартості і прибутків підприємств, нераціональне використання відходів

Продовження таблиці 5

Чинники впливу	Ділянка ЛСВ	Позитивні зміни	Стан, що передує
Засоби підтримки виробників, населення			
Підтримка вразливих верств населення	Реалізація	Збільшення купівельної спроможності населення та обсягів реалізації продукції	Недостатня купівельна спроможність вразливих верств населення
Підтримка сільськогосподарських та переробних підприємств	Виробництво – переробка–реалізація	Покращення умов роботи підприємств та підвищення ефективності їх діяльності	Недостатня підтримка підприємств
Розширення регіонів та ринків збуту продукції	Транспортування, реалізація	Суттєве збільшення відстаней постачання продукції нетривалого зберігання і відповідно обсягів її реалізації	Обмежені відстані постачання продукції
Фінансово-інвестиційна політика			
Сприятливий інвестиційний клімат; залучення інвестицій; банківська реформа; узгоджена взаємодія з інституціями	Виробництво – переробка–реалізація	Збільшення обсягів фінансування підприємств, пільгова фінансово-кредитна політика банків та фінансових установ; залучення інвестицій	Недостатність фінансових ресурсів та обігових коштів підприємств
Подолання неузгодженостей у виробничо-збутових ланцюгах			
Встановлення рівноважних цін на всіх етапах ЛСВ; запобігання недобросовісної конкуренції	Виробництво – переробка–реалізація	Економічно обґрунтовані ціни; справедливий розподіл доходів учасників ЛСВ; взаємоузгодженість роботи підприємств ЛСВ	Економіко-організаційні неузгодженості у виробничо-збутових ланцюгах

Джерело: сформовано автором

Запропонована класифікація дозволяє визначити стратегічні напрями, а також цілеспрямований комплекс заходів і засобів аграрної політики, що спрямовані на стимулювання ЛСВ харчової продукції. Ефективну діяльність ланцюгів створення вартості стримують негативні чинники системних змін, зокрема світові та національні кризи, стихійні лиха, військова агресія, економіко-політична нестабільність, глобальне потепління. Перешкоджають діяльності підприємств порушені логістичні ланцюги, недостатні квоти на експорт аграрної продукції. Стримують розвиток продовольчого ринку низька купівельна спроможність населення та обмежене фінансування підприємств, недобросовісна конкуренція. Через забруднення і тимчасову втрату територій, недостатньо контрольований експорт зернових, на ринку відсутні необхідні обсяги якісної пшениці для виробництва хліба. Підприємства недостатньо модернізовані, а через війну частково втратили виробничі потужності і персонал. Мають місце неузгодженість продовольчих ланцюгів, не завжди ефективний менеджмент на всіх рівнях. Тому для подолання викликів аграрного сектора необхідно використати засоби і заходи аграрної політики, що враховують і запропоновану автором класифікацію.

Перспективи подальших досліджень передбачають розроблення моделі оцінки потенціалу та обмежень у ланцюгах створення вартості харчової продукції.

Висновки. Стійкість продовольчих ланцюгів створення вартості була випробувана кризами, внутрішньою нестабільністю та повномасштабним вторгненням російської федерації. Незважаючи на негативний вплив світових та національних криз, системні зміни, які були здійснені на етапах розвитку і становлення країни на макро- та мезорівнях, за підтримки підприємств, громад і населення, позитивно вплинули на економіку і суспільство. Напрями та заходи подолання негативних явищ і стимулювання розвитку харчової промисловості доцільно розглядати з урахуванням класифікації чинників

системних змін в економіці, що містять дев'ять основних напрямів з їх подальшою деталізацією і позитивно впливають на формування ЛСВ харчової продукції.

Бібліографія

1. Державна служба статистики України. www.ukrstat.gov.ua. (01.11.2024).
2. Коваленко О. В., Кириченко А. В. Трансформації глобальних логістичних продовольчих ланцюгів в умовах війни в Україні. *Продовольчі ресурси*. 2023. 11 (20). 211–220. <https://doi.org/10.31073/foodresources2023-20-20>.
3. Sychevskiy M, Kovalenko O., Deineko L., Yashchenko L. Assessing dynamic stability of economic development of global food markets in the context of globalization. *Problems and Perspectives in Management*. 2022. №20 (2), 372–388. [http://dx.doi.org/10.21511/ppm.20\(2\).2022.31](http://dx.doi.org/10.21511/ppm.20(2).2022.31).
4. Коваленко О. В., Куць О. І., Бокій О. В. Концептуальні засади формування економічної політики та механізмів розвитку харчової промисловості. Інститут продовольчих ресурсів НААН. Київ, 2020. 51 с. <https://iprkyiv.com/index.php/nashi-vydannya/monohrafiyi.html>.
5. Shpychak O. M., Kopytets N. H., Pashko S. O. Transformations in milk production in Ukraine and modern challenges. *AIP Conference Proceedings*. 2022. 2661, 020013. <https://doi.org/10.1063/5.0107608>.
6. Mu J., Zhu Q. Social co-governance for sustainable brand in food industry: dynamic evolutionary game among multiple stakeholders. *Journal of industrial and management optimization*. 2022. 10(19). 7245–7266. <https://doi.org/10.3934/jimo.2022261>.
7. Tukamuhabwa B. R. Supply Chain Orientation and Supply Chain Risk Management Capabilities: Mechanisms for Supply Chain Performance of Agro-Food Processing Firms in Uganda. *Journal of African Business*. 2023. <https://doi.org/10.1080/15228916.2023.2165894>.
8. Szajner P. та Szczepaniak I. The evolution of the agri-food sector in terms of economic transformation, membership in the e and globalization of the world economy. *Zagadnienia ekonomiki rolnej*, 2020. 365 (4) , pp. 61–85. <https://doi.org/10.30858/zer/128631>.
9. Ballouk H., Ben Jabeur S., Challita S., Chen C. M. Financial stability: A scientometric analysis and research agenda. *Research in International Business and Finance*. 2024. 70A, article 102294. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2024.102294>.
10. UNEP 2011 annual report. United Nations Environment Programme. 2012. <https://www.unep.org/resources/annual-report/unep-2011-annual-report>. (25.10.2024).
11. Тодорюк С. І. Сталий розвиток як економічна категорія. *Вісник Хмельницького національного університету. Економічні науки*. 2013. 1, 199–202. http://journals.khnu.km.ua/vestnik/pdf/ekon/VKNU-ES-2013-N1-Volume1_196.pdf. (25.10.2024).
12. Про схвалення Стратегії продовольчої безпеки України на період до 2027 року та затвердження операційного плану заходів з її реалізації. Розпорядження Кабінету Міністрів України № 684-р від 23.07.2024. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/684-2024-%D1%80>. (25.10.2024).
13. Бойко О. Д. (2022). Національне господарство України: етапи розвитку. Велика українська енциклопедія [https://vue.gov.ua/Національне господарство України: етапи розвитку](https://vue.gov.ua/Національне_господарство_України:_етапи_розвитку). (01.11.2024).
14. Конституція України. Відомості Верховної Ради України. 1996. № 30, ст. 141. <https://wipo.lex-res.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/uk/ua/ua013uk.pdf> (25.10.2024).
15. Хмара М. П. Хрономаркери економічного розвитку незалежної України. Велика українська енциклопедія. [https://vue.gov.ua/Хрономаркери економічного розвитку незалежної України](https://vue.gov.ua/Хрономаркери_економічного_розвитку_незалежної_України). (01.11.2024).

References

1. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainyn (2023). [State Statistics Service of Ukraine]. <http://www.ukrstat.gov.ua> [in Ukrainian] (01.11.2024).
2. Kovalenko, O. V., Kyrychenko, A. V. (2023). Transformatsii hlobalnykh lohistychnykh prodovolchych lantsiuhiv v umovakh viiny v Ukraini [Transformations of global logistics food chains in the conditions of war in Ukraine]. *Prodovolchi resursy* [Food Resources], 11 (20), 211–220. <https://doi.org/10.31073/foodresources2023-20-20> [in Ukrainian].
3. Sychevskiy, M, Kovalenko, O., Deineko, L., Yashchenko, L. (2022). Assessing dynamic stability of economic development of global food markets in the context of globalization. *Problems and Perspectives in Management*, 20 (2), 372–388. [http://dx.doi.org/10.21511/ppm.20\(2\).2022.31](http://dx.doi.org/10.21511/ppm.20(2).2022.31).
4. Kovalenko, O. V., Kuts, O. I., Boki, O. V. Kontseptualni zasady formuvannia ekonomichnoi polityky ta mekhanizmv rozvytku kharchovoi promyslovosti [Conceptual foundations of economic policy formation and mechanisms of food industry development]. *Instytut prodovolchych resursiv NAAN* [Institute

of Food Resources of NAAS]. Kyiv, 2020. 51 p. <https://iprkyiv.com/index.php/nashi-vydannya/monohrafiyi.html> [in Ukrainian].

5. Shpychak O. M., Kopytets N. H., Pashko S. O. (2022). Transformations in milk production in Ukraine and modern challenges. AIP Conference Proceedings. 2661, 020013. <https://doi.org/10.1063/5.0107608>.

6. Mu, J., Zhu, Q. Social co-governance for sustainable brand in food industry: dynamic evolutionary game among multiple stakeholders. Journal of industrial and management optimization. 10 (19), 7245–7266. <https://doi.org/10.3934/jimo.2022261>.

7. Tukamuhabwa, B. R. (2023). Supply Chain Orientation and Supply Chain Risk Management Capabilities: Mechanisms for Supply Chain Performance of Agro-Food Processing Firms in Uganda. Journal of African Business. <https://doi.org/10.1080/15228916.2023.2165894>.

8. Szajner, P., Szczepaniak, I. (2020). The evolution of the agri-food sector in terms of economic transformation, membership in the e and globalization of the world economy. Zagadnienia ekonomiki rolnej, 365 (4), 61-85. <https://doi.org/10.30858/zer/128631>.

9. Ballouk, H., Ben Jabeur, S., Challita, S., Chen, C. M. (2024). Financial stability: A scientometric analysis and research agenda. Research in International Business and Finance, 70A, article 102294. <https://doi.org/10.1016/j.ribaf.2024.102294>.

10. UNEP 2011 annual report (2012). <https://www.unep.org/resources/annual-report/unep-2011-annual-report>. (25.10.2024).

11. Todoriuk, S. I. (2013). Stalyi rozvytok yak ekonomichna katehoriia [Sustainable development as an economic category]. Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu. Ekonomichni nauky [Herald of Khmelnytskyi National University. Economic sciences]. 1, 199–202. <http://econom.chnu.edu.ua/wp-content/uploads/2016/10/todoriuk-stal-rozv.pdf> [in Ukrainian]. (25.10.2024).

12. Pro skhvalennia Stratehii prodovolchoi bezpeky Ukrainy na period do 2027 roku ta zatverdzhennia operatsiinoho planu zakhodiv z yii realizatsii. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy № 684-r vid 23.07.2024 [On the approval of the Food Security Strategy of Ukraine for the period until 2027 and the approval of the operational plan of measures for its implementation. Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 684-p 07.23.2024]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/684-2024-%D1%80> [in Ukrainian]. (25.10.2024).

13. Boiko, O. D. (2022). Natsionalne hospodarstvo Ukrainy: etapy rozvytku [National economy of Ukraine: stages of development]. Velyka ukrainska entsyklopediia [The Great Ukrainian Encyclopedia]. <https://vue.gov.ua> [in Ukrainian]. (01.11.2024).

14. Konstytutsiia Ukrainy [Constitution of Ukraine]. Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy [Information of the Verkhovna Rada of Ukraine], 1996, № 30, st. 141. <https://wipolex-res.wipo.int/edocs/lexdocs/laws/uk/ua/ua013uk.pdf> [in Ukrainian]. (25.10.2024).

15. Khmara, M. P. (2022). Khronomarkery ekonomichnoho rozvytku nezalezhnoi Ukrainy [Chronomarkers of the economic development of independent Ukraine]. Velyka ukrainska entsyklopediia [Great Ukrainian encyclopedia]. <https://vue.gov.ua> [in Ukrainian]. (01.11.2024).

УДК 338.1 (477)

ПЕРВИННЕ ВИРОБНИЦТВО У ДОВОЄННИЙ ПЕРІОД
І НА ЕТАПІ ВОЄННОГО СТАНУ В УКРАЇНІ

Варченко О. М.¹, д.е.н., професорка,
проректорка з наукової та інноваційної діяльності
<https://orcid.org/0000-0002-9090-0605>

Крисанов Д. Ф.¹, д.е.н., професор, керівник Інституту економіки і бізнесу
<https://orcid.org/0000-0002-9065-3325>

Герасименко І. О.¹, к.е.н., доцентка,
доцентка кафедри фінансів, банківської справи та страхування
<https://orcid.org/0000-0002-7829-8009>

Ткаченко К. В.¹, к.е.н., доцентка,
доцентка кафедри фінансів, банківської справи та страхування
<https://orcid.org/0000-0002-0369-3100>

Варченко О. О.¹, PhD, Економіка,
асистентка кафедри фінансів, банківської справи та страхування
<https://orcid.org/0000-0002-3543-6926>

Тур О. В.², к.е.н., доцентка,
доцентка кафедри економіки праці та менеджменту
<https://orcid.org/0000-0001-7158-0100>

¹Білоцерківський національний аграрний університет, Біла Церква, Україна

²Національний університет харчових технологій, Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-28>

Предмет. Сукупність теоретичних, методичних та прикладних аспектів розвитку різних груп підприємств первинного виробництва в умовах перманентної мінливості внутрішньої ситуації (аграрні кризи і локальні спади, довоєнний період і етап воєнного стану) та посилення турбулентності в економічному середовищі України. **Мета.** Розкрити сучасний стан та узагальнити результати ведення підприємницької діяльності суб'єктами господарювання первинного виробництва в умовах перманентного виникнення аграрних криз, воєнного стану і локальних спадів та посилення зовнішньої турбулентності, обґрунтувати рекомендації практичного змісту, спрямовані на забезпечення їх сталого розвитку у повоєнний період. **Методи.** Основою проведених досліджень були загальнонаукові та спеціальні методи досліджень: системного й ретроспективного аналізу – для встановлення особливостей розвитку різних груп підприємств первинного виробництва у довоєнний період та в умовах воєнного стану; формалізації, аналізу і синтезу – для виявлення та оцінювання різних груп підприємств, що продукували та реалізували первинну продукцію, на тлі зменшення її обсягів в умовах аграрних криз та на етапі війни; порівняльного аналізу – при дослідженні ефективності діяльності груп підприємств різних продуктових і обслуговуючих напрямів. **Результати.** Встановлено причини і наслідки реального впливу аграрних криз і воєнного стану на функціонування різних груп первинного виробництва, а також їх виробничої діяльності у міжкризові періоди та у першому воєнному році. Виявлені переломні моменти в розвитку сільського господарства у зв'язку зі структурними зрушеннями та мінливістю економічної ситуації. Розкрито особливості розвитку різних груп підприємств первинного виробництва за чинними моделями їх стійкості стосовно аграрних криз і локальних спадів: корелюють із спадом виробництва та стійкі по відношенню кризових періодів. Встановлено, що при цьому позитивну роль відіграло підвищення індексу цін на продукцію сільського господарства. Виявлено та встановлено основні умови, які забезпечили активне інвестування різних груп підприємств первинного виробництва у кризові та локально спадні періоди розвитку. **Сфера застосування результатів.** Результати досліджень включають теоретичні засади і практичні підходи щодо розкриття особливостей розвитку та ефективності діяльності суб'єктів господарювання первинного виробництва в умовах кризових й міжкризових періодів та на етапі воєнного стану. Виявлені тенденції будуть використані при відродженні потенціалу підприємств первинного виробництва в процесі ліквідації наслідків окупації та активізації діяльності суб'єктів господарювання із використанням засобів й інструментів їх підтримки.

Ключові слова: первинне виробництво, підприємства, зайнятість, рентабельність, прибутковість та збитковість, ефективність і результативність

PRIMARY PRODUCTION IN THE PRE-WAR PERIOD AND AT THE STAGE OF MARTIAL LAW IN UKRAINE

Olaa Varchenko¹, D-r of Sc., Economics, Professor,
Vice-rector for Scientific and Innovative Activities
<https://orcid.org/0000-0002-9090-0605>

Dmytro Krvsanov¹, D-r of Sc., Economics, Professor,
Head of the Institute of Economics and Business
<https://orcid.org/0000-0002-9065-3325>

Irvna Gerasimenko¹, PhD, Economics, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Finance, Banking and Insurance
<https://orcid.org/0000-0002-7829-8009>

Katervna Tkachenko¹, PhD, Economics, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Finance, Banking and Insurance
<https://orcid.org/0000-0002-0369-3100>

Olaa Varchenko¹, PhD, Economics,
Assistant of the Department of Finance, Banking and Insurance
<https://orcid.org/0000-0002-3543-6926>

Olesia Tur², PhD, Economics, Associate Professor,
Associate Professor of the Department of Labor Economics and Management
<https://orcid.org/0000-0001-7158-0100>

¹Bila Tserkva National Agrarian University, Bila Tserkva, Ukraine

²National University of Food Technologies, Kyiv, Ukraine

Subject. A set of theoretical, methodological and applied aspects of the development of various groups of primary production enterprises in conditions of permanent variability of the internal situation (agrarian crises and local recessions, the pre-war period and the stage of martial law) and increased turbulence in the economic environment of Ukraine. **Purpose.** To reveal the current state and generalize the results of conducting business activities by economic entities of primary production in the conditions of permanent occurrence of agrarian crises, martial law and local recessions and increased external turbulence, to substantiate recommendations of practical content aimed at ensuring their sustainable development in the post-war period. **Methods.** The basis of the conducted research was general scientific and special research methods: systematic and retrospective analysis – to establish the specifics of the development of various groups of primary production enterprises in the pre-war period and under martial law; formalization, analysis and synthesis – to identify and evaluate various groups of enterprises that produced and sold primary products, against the background of a decrease in their volumes in conditions of agrarian crises and at the stage of war; comparative analysis – when investigating the effectiveness of groups of enterprises in different product and service areas. **Results.** The causes and consequences of the real impact of agrarian crises and martial law on the functioning of various groups of primary production, as well as their production activities in the inter-crisis periods and in the first war year, have been established. Turning points in the development of agriculture in connection with structural changes and the variability of the economic situation were identified. The peculiarities of the development of various groups of primary production enterprises according to the current models of their stability in relation to agrarian crises and local recessions are revealed: they are correlated with the decline of production and stable in relation to crisis periods. It was established that a positive role was played by the increase in the price index for agricultural products. The main conditions that ensured active investment of various groups of primary production enterprises in crisis and locally declining periods of development were identified and established. **Scope of results.** The results of the research include theoretical foundations and practical approaches to uncovering the specifics of development and efficiency of primary production business entities in crisis and inter-crisis periods and at the stage of martial law. The identified trends will be used in the revival of the potential of primary production enterprises in the process of eliminating the consequences of the occupation and revitalizing the activities of business entities with the use of means and tools for their support.

Key words: primary production, enterprises, employment, profitability, profitability and loss, efficiency and effectiveness

Постановка проблеми. Розвиток української економіки характеризується наступними часовими і рухливими просторовими віхами: а) до 2014 р. – у традиційних пострадянських кордонах 1991 р.; б) 2014-2021 рр. – без тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях; в) з лютого 2022 р. – в умовах проведення військових дій на території десяти областей, коли фронт розтягнувся на майже півтори тисячі км і перебуває в постійному русі. Отже аналітичний аналіз доцільно проводити з 2014 р., тобто коли протягом восьми років українська економіка функціонувала в усіченому масштабі (втратила майже 20% ВВП унаслідок окупації Донбасу і Криму), та з 2022 р. і дотепер, коли на території ряду регіонів проводилися, ведуться і ще будуть вестися військові дії: падіння економіки за перший рік війни відбулося на 29,1%, у 2023 р. – зростання на 5,3%. Зазначимо, що зростання ВВП відбувалося на тлі низької бази порівняння 2022 р. – фактично ж економічне відновлення припинилося. У кожному кварталі 2023 р. реальний ВВП був нижчим відносно реального ВВП у відповідному кварталі 2021 р.

Сільське господарство, мисливство та надання пов'язаних з ними послуг виступає ключовою складовою первинного виробництва, Галузь загалом продукує понад 98% продукції первинного сектора. Функціонування аграрної галузі проходить у складних умовах: зокрема: 2015 і 2020 рр. це роки «дна» аграрних криз і спаду виробництва (відповідно 88,2% і 90,4% валової продукції сільського господарства), а обвальне зменшення у 2022-2024 рр. (78,6% у перший рік війни) пов'язане із зменшенням посівних площ, кількості продуктивної худоби у результаті неспровокованої агресії росії в Україні (табл. 1).

Таблиця 1

Динаміка продукції та ефективності сільського господарства України*
за 2014–2022 рр., валова продукція за 1990 р. – 100%

Показники	Роки									2022 до 2014 = пп
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Валова продукція, %	92,6	88,2	93,8	91,7	99,2	100,6	90,4	104,8	78,6	-14,0
До попереднього року, %	102,2	95,2	106,3	97,8	108,2	101,4	89,9	114,4	75,0	-27,2
Рентабельність операційної діяльності, %	21,4	43,0	33,6	23,2	18,9	19,8	19,1	41,8	20,3	-1,1
Рентабельність всієї діяльності, %	9,2	30,4	25,6	16,5	14,2	16,6	14,0	37,8	13,6	4,4
Прибуткові підприємства, %	84,9	88,9	88,4	86,7	86,7	83,4	82,7	88,3	78,4	-6,5
Індекс цін до попереднього року, %	145,1	166,0	107,6	111,8	104,4	86,6	153,6	116,7	100,1	-45,0

**Складено* за даними Державної служби статистики України за відповідні роки.

Економічні показники діяльності галузі (рентабельність операційна і вся, частка прибуткових підприємств) значною мірою корелюють із масштабуванням індексу цін: його потужне підвищення дозволяло великою мірою навіть у кризові роки утримати більшість господарств «на плаву». За період 2013 (100%)–2022 рр. вартість реалізації продукції сільського господарства (тобто ціни на аграрну сировину) збільшилася у 4,7 рази, а коливання min-max індексу цін на сільськогосподарську продукцію до попереднього року становило майже удвічі: 86,6%–166,0%.

Водночас, враховуючи загострення ситуації практично на усіх частинах фронту, значні провали національної економіки чекають у нинішньому році, коли унаслідок руйнації теплових електростанцій практично більше 40% усієї генерації країни припинило існування. Це відчутно вплине на економічні показники більшості галузей, включаючи аграрний сектор.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Розвиток первинного виробництва, тобто розділів (галузей) сільського, лісового та рибного господарства, був предметом досліджень багатьох науковців і практиків. Головна увага приділялася особливостям функціонування і динаміці економічних показників впродовж 2010-их років ключової галузі та окремих аграрних груп і класів підприємств, зокрема: рослинництва та його складових (зернові, олійні і технічні культури, багаторічні рослини й ін.) і тваринництва (молочне і м'ясне скотарство, свинарство, птахівництво, вівчарство та ін.) [1–9]. Але постійні турбуленції у внутрішньому та зовнішньому середовищі, посилення впливу аграрних криз, а особливо запровадження воєнного стану на території України у лютому 2022 р., зумовили суттєві зміни в умовах господарювання та спричинили зниження економічних показників розвитку різних груп підприємств, посилили диференціацію між ними за результатами підприємницької діяльності. Це вимагає проведення глибокого аналізу як причин, так і наслідків цих змін та опрацювання передумов, спроможних забезпечити сталий розвиток підприємств первинного виробництва.

Мета роботи – розкрити сучасний стан та узагальнити особливості ведення підприємницької діяльності суб'єктами господарювання первинного виробництва в умовах перманентного виникнення аграрних криз, воєнного стану і локальних спадів та посилення зовнішньої турбулентності, обґрунтувати рекомендації практичного змісту, спрямовані на забезпечення їх сталого розвитку у повоєнний період.

Основні результати досліджень. Основним пріоритетом розвитку первинного виробництва виступає нарощування фізичних об'ємів продукування аграрної сировини, покращання економічних показників його функціонування, просування по шляху інноваційної модернізації діючих потужностей, техніки та обладнання, ефективного використання залучених матеріальних ресурсів й робочої сили. Важливим показником виступає обсяг виробленої продукції і його похідна – обсяг реалізованої продукції як практичний результат функціонування галузей матеріального виробництва.

Аналізуючи дані, наведені в табл. 2, необхідно зазначити, що по 2021 р. включно за абсолютними показниками спостерігається висхідний тренд, тобто збільшення обсягів реалізованої продукції первинного виробництва з 2014 р. у 4,285 рази (до 943489 млн грн.), у т.ч. сільського господарства – у 4,332 рази (до 910302 млн грн.). Водночас при цьому відбулося підвищення індексу цін на аграрну продукцію за вказаний період у 4,696 рази. Отже фактично маємо висхідний тренд з певним його «просіданням», тобто коефіцієнт «зростання» для первинного виробництва 0,912 (для сільського господарства – 0,922), а після у 2022 р. наступив глибокий спад – 72,3% (ключової галузі – 71,7%), порівняно з попереднім роком. Проаналізуємо, як загальний спад по первинному виробництву відобразився на функціонуванні і економічних результатах роботи окремих розділів і груп підприємств.

Таблиця 2

Обсяг реалізованої продукції (товарів, послуг) суб'єктів господарювання первинного виробництва України*, млн. грн.

КВЕД-2010	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2022 до 2014 = %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
УСЬОГО (секція А= розділи 01+02+03);	220163	372033	414800	467636	540509	572748	624070	943489	682412	309,9
З нього:										
01 Сільське господарство, мисливство та надання по в'язаних з ними послуг, з неї:	210153	357384	397281	447459	516249	550149	601972	910302	652999	310,7
01.1 вирощування однорічних та дворічних культур	157538	285753	322435	367654	422786	455933	505313	796565	548485	348,1
01.2 вирощування багаторічних культур	4794	4402	3989	6600	5698	5350	5216	7332	6517	135,9
01.3 відтворення рослин	346	459	644	458	596	741	801	1211	614	177,4
01.4 тваринництво	39796	55731	58239	53661	65187	64637	67145	76436	73819	185,5
01.5 змішане сільське господарство	1308	1594	2121	2873	3484	4072	4164	5913	4510	344,8
01.6 допоміжна діяльність у сільському господарстві та післяурожайна діяльність	6330	9366	9777	16134	18425	19327	19242	22734	19008	300,3
01.7 мисливство, відловлювання тварин та надання пов'язаних із ними послуг	40	78	75	78	72	89	92	111	46	115,0
02 Лісове господарство та лісозаготівлі, з неї:	9389	13631	16220	18718	22592	20731	20589	31256	27773	295,8
02.1 лісівництво та інша діяльність у лісовому господарстві	1681	2332	2907	3867	4450	4164	4408	7165	7225	429,8
02.2 лісозаготівлі	6837	10209	12246	13401	16675	15346	14679	22055	19793	289,5
02.3 збирання дикорослих недревних продуктів	71	112	198	464	405	556	797	1097	261	367,6
02.4 надання допоміжних послуг у лісовому господарстві	801	977	870	985	1061	666	705	939	494	61,6
03 Рибне господарство, з неї:	621	1018	1299	1459	1669	1868	1508	1932	1641	264,2
03.1 рибальство	276	417	604	889	1069	1272	799	1064	1189	430,8
03.2 рибництво (аквакультура)	345	601	696	570	600	596	710	867	452	131,0
Довідково:										
Основні засоби: сільське господарство, мисливство та зв'язані з ними послуги, млн грн.	167283	205575	264859	335302	399526	460475	530721	583508	н/д	348,8
Знос основних засобів, %	38,4	37,8	36,9	35,4	35,1	38,0	39,9	40,8	н/д	2,4
Валова продукція сільського господарства, 1990	92,6	88,2	93,8	91,7	99,2	100,6	90,4	103,4	78,6	-14,0

p.= 100%										
Прибуток чистий, млн грн.	21391	101894	89789	68240	70420	92840	81465	237606	84822	396,2
Амортизація, млн грн.						38205	40746	45898	н/д	...
Прибуткові підприємства, %	84,9	88,9	88,4	86,7	86,7	83,4	82,9	88,7	78,5	-6,4
Індекс цін на продукцію сільського господарства, %	145,1	166,0	107,6	111,8	104,4	86,6	153,6	116,7	100,1	-45,0

*Складено та розраховано за даними Державної служби статистики України: Обсяг реалізованої продукції (товарів, послуг) суб'єктів господарювання за видами економічної діяльності у 2010–2022 роках.

Примітка:

1. Дані наведено без урахування результатів діяльності бюджетних установ, за 2014–2021 роки без тимчасово окупованої території Автономної Республіки Крим, м. Севастополя та частини тимчасово окупованих територій у Донецькій та Луганській областях; дані за 2022 рік наведено без урахування тимчасово окупованих російською федерацією територій та частини територій, на яких ведуться (велися) бойові дії.

2. Інформація за 2021–2022 роки сформована на основі фактично поданих підприємствами звітів та проведених дооцінок показників.

3. Символ (к) – дані не оприлюднюються з метою виконання вимог Закону України «Про офіційну статистику» щодо забезпечення гарантій органів державної статистики щодо статистичної конфіденційності.

Як це не здається нелогічним, але найбільш стійким до кризи в умовах війни виявилася група 01.4 тваринництво: зменшення виробництва і реалізації продукції у 2022 р., порівняно з попереднім роком, становило лише 96,6% (спад з 76436 млн грн. до 73819 млн грн.). Ця група включає вирощування та розведення всіх видів тварин, крім водних, зокрема: великої рогатої худоби та інших рогатих, коней, овець і кіз, свиней, свійської птиці. Водночас, нелогічність незначного зменшення реалізації продукції тваринництва, на нашу думку, пояснюється тим, що були враховані фактично приховані для майбутнього значні втрати, зокрема: забій худоби у зв'язку з неможливістю її переправити у неокуповані регіони і її реалізація як яловичини, що збільшувало обсяги виробництва м'ясної продукції. Але це супроводжувалося відчутним скороченням молочного та іншого поголів'я худоби, зменшенням надоїв та надходження сирого молока на переробку. Це також стосувалося і птахівництва, свиначства, вівчарства та ін.

Майже удвічі зменшилася реалізація продукції по групі 01.3 відтворення рослин (з 1211 млн грн. до 614 млн грн.) і у 2,4 рази скоротилося по групі 01.7 мисливство, відловлювання тварин та надання пов'язаних із ними послуг (з 111 млн грн. до 46 млн грн.). Але найбільш об'ємними були втрати по групі 01.1 вирощування однорічних та дворічних культур – понад 31% (з 796565 млн грн. до 548485 млн грн.). Ця група включає вирощування небагаторічних культур, що існують не більше двох вегетаційних періодів, а також з метою одержування їх насіння. До них відносяться: вирощування зернових, бобових і насіння олійних культур, овочів і баштанних культур, коренеплодів і бульбоплодів, рису, прядивних та інших культур. Оскільки ця група становить 87,5% від реалізації продукції усього сільського господарства, то якраз вона і справляє відчутний вплив на ситуацію у галузі загалом.

Решта груп також різною мірою зменшили обсяги виробництва і реалізації продукції, зокрема: 01.2 вирощування багаторічних культур – скорочення на 11,1% – (з 7332 млн грн. до 6517 млн грн.); 1.5 змішане – сільське господарство – на 23,7% (з 5913 млн грн. до 4510 млн грн.); 01.6 допоміжна діяльність у сільському господарстві та післяурожайна діяльність – на 16,4% (з 22734 млн грн. до 19008 млн грн.). Ці три групи становлять лише 4% реалізації продукції розділу 01 сільське господарство, мисливство та надання пов'язаних з ними послуг і тому помітного впливу на показники ключової галузі не справляють.

Викликає значний інтерес і різке збільшення обсягів реалізованої продукції (товарів, послуг) у 2021 р. порівняно з попереднім роком: у розділі 02 Лісове господарство та лісозаготівлі з 20589 млн грн. до 31356 млн грн., тобто у півтора рази більше, а у розділі 03 Рибне господарство з 1508 млн грн. до 1932 млн грн., тобто у 1,3 рази більше.

Що стосується лісового господарства та лісозаготівель, то у 2021 р. перейшли на продаж деревини на відкритих прозорих торгах. Це значно збільшило доходи лісових господарств: обсяг реалізації продукції зріс на 8 млрд грн, чистий прибуток – з 200 млн грн. до 1,7 млрд грн. Додаткові кошти були направлені на оновлення матеріально-технічної бази: капітальні інвестиції зросли до 1,4 млрд грн. Більше 70% у лісовому розділі займає група 02.2 лісозаготівлі, яка включає заготівлю круглого лісоматеріалу для деревообробної промисловості; заготівлю круглого лісоматеріалу, який використовують в необробленому вигляді (рейки, огорожі, стовпи та жердини); збирання та заготівлю паливної деревини; збирання та заготівлю відходів паливної деревини та ін.

Друга причина зростання обсягів реалізації продукції – проведення організаційної реформи в лісовому господарстві: замість майже 300 державних підприємств (ДП) утворили 160 нових, а 124 підприємства було приєднано до інших лісгоспів. У процесі реформування вивільнили величезну кількість адміністративних будівель (це супроводжувалося економією витрат на опалення, ремонти, охорону). Зменшили кількість директорів лісгоспів, зробили ставку на впровадження найбільш ефективного топ-менеджменту.

Що стосується рибного господарства, то на виконання розпорядження Кабінету Міністрів України від 12.08.2022 № 714-р «Про передачу цілісних майнових комплексів державних підприємств, установ та організацій до сфери управління Державного агентства меліорації та рибного господарства» станом на 31.12.2022 зі сфери управління Держводагентства до сфери управління Держрибагентства передано 38 водогосподарських організацій, які виконують функції меліорації земель та експлуатації державних водогосподарських об'єктів комплексного призначення, міжгосподарських зрошувальних і осушувальних систем у районі діяльності. Отже, повноваження Держрибагентства з питань меліорації, які були передані відомству ще у травні 2021 р., почали реалізовуватися з серпня 2022 р. Водночас, реалізація продукції Держводагентства була передана у 2021 р. і за неї, після уточнення назви відомства, уже звітувалося Державне агентство з розвитку меліорації, рибного господарства та продовольчих програм (Держрибагентство). Таким чином мали місце організаційні перетворення і вони спричинили збільшення обсягів реалізованої продукції (товарів, послуг) по розділу 02 Рибне господарство. Домінуючу роль тут займає група 03.1 рибальство, тобто «вилов риби», який включає види діяльності з полювання, добування або збирання живих водних організмів (переважно риби, молюсків і ракоподібних), у т.ч. водних рослин, в океанічному середовищі або в прісних водах для їх уживання в їжу людьми.

Квінтесенцією господарської діяльності суб'єктів підприємництва у матеріальному виробництві виступають економічні показники, які визначаються по закінченню календарного року: дохід, прибуток, збиток, рентабельність та ін. Динаміка чистого прибутку (збитку) за результатами діяльності підприємств первинного виробництва за 2014-2022 рр. наведена у табл. 3. Її аналіз свідчить, що тут прямих залежностей не існує, зокрема: чистий прибуток ключової галузі (сільське господарство) у кризовому 2015 р. збільшився, порівняно з попереднім роком, у 4,8 рази (з 21481 млн грн. до 102849 млн грн.), але у післякризовий рік зменшився на 12% (до 89789 млн грн.). На нашу думку, у цьому випадку чітко спрацював індекс цін, який було зафіксовано на позначці 166,0%, порівняно з попереднім 2014 р. Це найвищий показник, який взагалі спостерігався на досліджуваному етапі. Він також підсилюється і найвищим показником рентабельності (табл. 4): операційної – 43,0%, усієї – 30,4%. Підсилює цю тезу також і найвища частка прибуткових підприємств у сільському господарстві – 88,9%. Отже ключова роль у досягненні потужних економічних результатів у кризовому 2015 р. належить надзвичайно високо «злетівшому» індексу цін на продукцію ключової аграрної галузі.

Водночас дещо по іншому треба розцінити ситуацію у кризовому 2020 р. Тут були досягнуті відносно невисокі показники: чистий прибуток становить 81465 млн грн. при індексі цін на продукцію сільського господарства 153,6% і низькій рентабельності відповідно 19,1% та 14,0%, але вище було у докризовому 2019 р. (чистий прибуток на 14% більше – 92840 млн грн.) при індексі цін 86,6% і дещо вищій рентабельності: 19,8% та 16,6%. Однак дуже показові результати були досягнуті у післякризовому 2021 р.: чистий прибуток у 2,9 рази вищий (237606 млн грн.), ніж у попередньому кризовому році, хоча обсяг реалізованої продукції був лише у півтора рази більшим (відповідно 602 млрд грн. та 910 млрд грн.). Індекс цін підвищився на 116,7%. Отже, крім підвищеного індексу цін, спрацював фактор реалізації частини аграрної продукції кризового року, яка перейшла у післякризовий період і вже тут була закуплена переробними підприємствами та споживачами. Індекс цін на цю частку продукції становив 179,2% (153,6x1,167). І рентабельність відповідним чином підвищилася: операційна до 41,8% та вся до 37,8%.

Таблиця 3

Чистий прибуток (збиток) підприємств первинного виробництва України*, млн. грн.

КВЕД-2010	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2022 до 2014 = %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
УСЬОГО (секція А= розділи 01+02+03);	21481	102849	90613	68859	71003	93255	81619	238807	86056	400,6
З нього:										
01 Сільське господарство, мисливство та надання пов'язаних з ними послуг, з неї:	21391	101894	89789	68240	70420	92840	81465	237606	84822	386,5
01.1 вирощування однорічних та дворічних культур	16098	88290	81760	58713	62787	84544	81023	225726	84455	524,6
01.2 вирощування багаторічних культур	2303	1451	648	1210	547	787	159	753	-556	...
01.3 відтворення рослин	65	99	162	47	14	77	78	78	13	20,0
01.4 тваринництво	6928	13742	7075	8265	7381	6389	882	9456	1989	28,7
01.5 змішане сільське господарство	-1258	-1067	-84	-15	238	309	3	1395	-430	34,1
01.6 допоміжна діяльність у сільському господарстві та післяурожайна діяльність	-2723	-603	255	58	-477	786	-635	230	-615	22,6
01.7 мисливство, відловлювання тварин та надання пов'язаних із ними послуг	-22	-18	-28	-37	-42	-53	-44	-34	-34	154,5
02 Лісове господарство та лісозаготівлі, з неї:	246	890	720	645	586	295	163	1204	1245	506,1
02.1 лісівництво та інша діяльність у лісовому господарстві	35	152	161	171	152	81	21	272	307	877,1
02.2 лісозаготівлі	180	650	511	377	402	213	138	915	913	507,2
02.3 збирання дикорослих недеревних продуктів	0,1	1,2	7,4	68	5,1	-0,4	0,1	3,5	11	110 р.б.
02.4 надання допоміжних послуг у лісовому господарстві	30	89	41	29	27	1	4	14	14	46,7
03 Рибне господарство, з неї:	-156	65	104	-26	-3	121	-10	-3	-11	7,1
03.1 рибальство	-89	-17	-26	2	19	156	-8	37	38	...
03.2 рибництво (аквакультура)	-67	82	130	-28	-22	-35	-2	-40	-49	73,1

*Складено та розраховано за даними Державної служби статистики України: Чистий прибуток (збиток) підприємств за видами економічної діяльності з розподілом на великі, середні, малі та мікропідприємства за 2010–2022 роки.

Відносно стабільні результати господарювання у досліджуваному періоді демонструють наступні групи підприємств: 01.1 вирощування однорічних та дворічних культур; 01.3 відтворення рослин; 01.4 тваринництво. Для оцінювання масштабу розмаху варіації чистого прибутку проаналізуємо його відношення за ті роки, які характеризують $\max:\min$, у результаті чого отримаємо своєрідний коефіцієнт варіації: група підприємств 01.1 = $(2021:2014 = 225726 : 16098) = 14,0$; 01.3 = $(2021:2022 = 78 : 13) = 6,0$; 01.4 = $(2015:2020 = 13742 : 882) = 15,6$.

Отже найбільший розмах варіації спостерігаємо в кризовостійких групах підприємств 01.4 тваринництво, який становить 15,6; дещо менший – в 01.1 вирощування однорічних та дворічних культур – 14,0 і найменший, тобто в найбільш кризовостійкій групі підприємств, – 01.3 відтворення рослин – 6,0. Остання група включає вирощування посадкового матеріалу всіх видів, у т.ч. черешків, кореневих пагонів та розсади, для відтворення рослин або щеплення дерев. Отже пояснити цю ситуацію можна тим, що тут ключову роль відіграло підвищення цін на продукцію сільського господарства і це загальмувало спад ефективності виробництва, яка зупинилася на позитивній позначці. Водночас свою роль відіграли глибина спаду під впливом аграрних криз і післякризові підйоми, а також зміни в кількості та структурі підприємств, їх виробничій спрямованості тощо.

Решту груп підприємств сільського господарства не оминули збиткові роки, але різною мірою масштабності: від першого воєнного року до усього суцільного періоду, що досліджується в статті. У цьому відношенні, на нашу думку, виправдано буде решту груп підприємств аграрної галузі розмістити у такій послідовності, зокрема:

- а) один збитковий рік: 01.2 вирощування багаторічних культур;
- б) п'ять збиткових років: 01.5 змішане сільське господарство і 01.6 допоміжна діяльність у сільському господарстві та післяурожайна діяльність;
- в) дев'ять збиткових років: 01.7 мисливство, відловлювання тварин та надання пов'язаних із ними послуг.

Остання група підприємств 01.7 є традиційно збитковою (варіація збитків у межах 18-53 млн грн.), оскільки у ній майже відсутні виробничі види діяльності. Водночас у перших двох групах підприємств під впливом ринкових коливань попиту на продукцію та послуги, а також унаслідок регіональних перекосів у запитах на перспективні зміни у структурі виробничої діяльності мали місце відчутні збитки протягом п'яти років (варіація прибутків/збитків для 01.5 – 1395/1258 млн грн., для 01.6 – 786/2713 млн грн.), а також для групи підприємств одного року збитковості 01.2 – 2303/556 млн грн.

Отже група підприємств 01.2 вирощування багаторічних культур, яка включає вирощування рослин, що існують більше двох вегетаційних періодів, які не відмирають після кожного сезону або безперервно ростуть, а також вирощування зазначених культур з метою отримання насіння, опинилася у групі збиткових тільки в умовах воєнного стану. Це пояснюється тим, що істотно зменшилася площа земель унаслідок окупації частини з них, які були зайняті під багаторічними культурами, зокрема: вирощування зерняткових і кісточкових фруктів, винограду, тропічних і субтропічних фруктів, цитрусових, ягід, горіхів, інших плодових дерев і чагарників, олійних плодів, пряних ароматичних і лікарських культур, культур для виробництва напоїв, інших багаторічних культур. Це і зумовило зменшення обсягів вирощеної та зібраної продукції, реальне скорочення постійних і згортання стихійних ринків для її реалізації, занепад частини підприємств.

Таблиця 4

Рентабельність операційної та всієї діяльності підприємств первинного виробництва України*, %.

КВЕД-2010		2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2022 до 2014 =п.п.
1		2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
УСЬОГО (А=01+02+03);	операційна	20,6	41,7	32,4	22,4	18,3	19,2	18,6	40,3	20,0	-0,6
	вся діяльність	8,9	29,5	24,7	16,0	13,7	16,1	13,6	36,4	13,3	4,4
З нього:											
01 Сільське господарство, мисливство та надання по в'язаних з ними послуг, з неї:		21,4	43,0	33,6	23,2	18,9	19,8	19,1	41,8	20,7	-0,7
		9,2	30,4	25,6	16,5	14,2	16,6	14,0	37,8	13,7	4,5
01.1 вирощування однорічних та дворічних культур		23,0	47,2	38,4	24,6	20,6	21,9	22,2	48,2	23,6	0,6
		9,1	33,4	29,2	17,3	15,5	18,3	16,8	43,1	16,7	7,6
01.2 вирощування багаторічних культур		68,9	43,8	26,1	23,8	12,2	7,4	8,0	13,9	-3,7	-72,6
		62,5	39,5	18,0	21,3	10,3	14,9	3,2	12,1	-7,4	-69,9
01.3 відтворення рослин		22,0	26,5	30,1	10,6	6,0	14,9	13,8	9,3	1,6	-20,4
		21,1	24,0	31,9	13,6	-2,4	12,7	13,0	8,4	1,9	-19,2
01.4 тваринництво		23,8	33,1	16,0	20,0	13,8	10,4	5,3	11,3	11,0	-13,8
		17,5	25,4	12,2	15,8	11,3	9,2	1,2	12,7	2,5	-15,0
01.5 змішане сільське господарство		-32,4	-13,6	10,6	9,7	14,6	14,7	3,2	36,8	-7,2	25,2
		-48,3	-31,8	-3,5	-0,5	6,9	7,5	0,1	33,2	-8,9	39,4
01.6 допоміжна діяльність у сільському господарстві та післяурожайна діяльність		-25,1	4,2	8,1	4,2	2,7	7,7	1,1	1,6	3,3	28,4
		-30,9	-6,6	3,6	0,4	-2,9	4,6	-3,6	1,2	-3,0	27,9
01.7 мисливство, відловлювання тварин та надання пов'язаних із ними послуг		-32,6	-20,6	-33,9	-31,8	-31,8	-33,8	-12,5	-26,6	-32,9	-0,3
		-25,0	-13,9	-19,6	-23,6	-22,4	-22,5	-10,5	-14,7	-26,0	-1,0
02 Лісове господарство та лісозаготівлі, з неї:		4,3	9,3	6,6	4,8	3,9	2,3	1,5	6,1	6,2	1,9
		2,8	7,5	5,1	4,0	3,0	1,7	1,0	4,6	4,7	1,9
02.1 лісівництво та інша діяльність у лісовому господарстві		3,7	8,7	7,9	6,1	4,6	2,9	1,1	5,3	5,5	1,8
		2,3	7,2	6,1	5,2	3,7	2,1	0,5	4,0	4,2	1,9
02.2 лісозаготівлі		4,4	9,2	6,2	4,2	3,7	2,3	1,6	6,5	6,5	2,1

	4,4	9,2	6,2	4,2	3,7	2,3	1,6	6,5	6,5	2,1
02.3 збирання дикорослих недеревних продуктів	0,6	-10,7	29,8	36,1	13,8	-0,4	-2,4	3,2	7,1	6,5
	0,9	-9,9	26,6	33,9	11,1	-1,0	0,7	3,1	3,9	3,0
02.4 надання допоміжних послуг у лісовому господарстві	4,6	11,6	6,7	2,5	2,8	0,1	0,0	3,6	6,6	2,0
	3,8	9,6	5,5	3,3	2,9	0,3	0,9	2,6	2,9	-0,9
03 Рибне господарство, з неї:	-19,8	9,1	11,6	-0,4	1,7	11,1	0,9	2,0	-0,2	19,6
	-25,3	8,7	9,6	-2,3	-0,2	7,8	-0,8	-0,2	-0,6	24,7
03.1 рибальство	-28,4	-4,0	-3,7	1,5	3,6	18,8	-0,1	7,2	3,9	32,3
	-31,9	-5,5	-4,1	0,2	2,2	14,2	-1,1	4,8	3,2	35,1
03.2 рибництво (аквакультура)	-12,6	18,0	34,3	-3,6	-1,2	-8,9	2,1	-4,8	-10,2	2,4
	-19,9	18,6	29,2	-6,4	-3,6	-7,9	-0,4	-6,5	-9,2	10,7

*Складено та розраховано за даними Державної служби статистики України: Рентабельність операційної та всієї діяльності підприємств за видами економічної діяльності з розподілом на великі, середні, малі та мікропідприємства за 2010–2022 роки.

Що стосується розділу 02 Лісове господарство та лісозаготівлі, а також його груп підприємств, за винятком трьох років функціонування групи 02.3 збирання дикорослих недеревних продуктів, то це найбільш кризовостійкі складові первинного виробництва. Особливі успіхи були досягнуті у 2021 р.: чистий прибуток зріс усемеро (з 163 млн грн. до 1204 млн грн.) і про причини цього було висвітлено вище. Рентабельність виробництва (табл. 4) не досягала навіть двозначної цифри (варіація операційної рентабельності 1,5%:9,3%, всієї 1,0%:7,5%), але кожен рік галузь закінчувала із постійним прибутком, а отже практично усі підприємства зберігають позитивну динаміку розвитку.

На відміну від розділу 02 Лісове господарство та лісозаготівлі, розділ 03 Рибне господарство повністю протилежний. Цей розділ включає дві групи підприємств: 03.1 рибальство та 03.2 рибництво (аквакультура). Кожен рік одна із двох груп підприємств, а протягом трьох років – обидві, закінчували збитково. Фактично ця галузь є кризовонестійкою: лише три роки із дев'яти закінчили із прибутком. Відповідним чином і корелювала рентабельність виробництва: розмах варіації у системі прибуток/збиток становив операційної рентабельності розділу 11,6%/19,8%, всієї 9,6%/25,3%. По окремих групах підприємств варіація рентабельності була ще вищою і цей алгоритм розвитку буде домінувати і в майбутньому.

Особливий інтерес викликає інвестування різних груп підприємств первинного виробництва. У перші чотири роки воно характеризувалося відчутним зростанням у 3,5 рази, але після локального піку 2018 р., який становив 66,1 млрд грн., намітився відчутний спад до моменту аграрної кризи 2020 р., тобто було реалізовано інвестицій лише 76,7% від пікового показника, або 50,7 млрд грн. Післякризовий 2021 р. відзначився глобальним піком, коли було вкладено капітальних інвестицій на 38% вище, ніж у кризовий рік, у сумі біля 70 млрд грн.: тобто майже учетверо більше, ніж на початку досліджуваного періоду (табл. 5).

Такі відчутні перепади в інвестуванні різних груп підприємств первинного виробництва пов'язані з тим, що основні потоки капітальних вкладень спрямовуються на оновлення та нарощування основних засобів виробництва, впровадження нових технологій і сучасної техніки та обладнання, розвиток нових видів виробничої діяльності та розширення обсягів виробництва первинної продукції. Основними джерелами капітальних вкладень виступають чистий прибуток підприємств, амортизація основних засобів, інші засоби господарств, кредити держави і банківських установ та кошти інвестиційних фондів, зарубіжні інвестиції та міжнародна технічна допомога. Статистичні дані за 2019–2021 рр. (табл. 5) свідчать про те, що чистий прибуток підприємств і амортизаційні відрахування у сукупності (122–283 млрд грн.) у 2,4–4 рази перевищують масштаби реалізації інвестицій в основний капітал (51–70 млрд грн.). Такі високі економічні показники були досягнуті і завдяки тому, що ціни на продукцію сільського господарства з період 2013–2022 рр. виросли у 4,7 рази.

Отже сільське господарство спроможне на власній основі забезпечити оновлення основного капіталу: за 2014–2021 рр. основні засоби збільшилися у 3,2 рази (з 167,3 млрд грн. до 583,5 млрд грн.), але при цьому їх зношеність дещо підвищилася з 38,4% до 40,8%. Це свідчить про те, що в господарствах функціонує чимало будівель, споруд і техніки, у яких прострочені строки експлуатації, і вони погіршують структуру основного капіталу. До того ж практично кожне восьме підприємство, а у 2022 р. – кожне п'яте, є збитковим, а отже тут недостатньо лише коштів амортизаційного фонду для оновлення основного капіталу. Якраз такі господарства відчувають гостру потребу в додаткових інвестиціях для залучення і використання за основними напрямками вкладення.

Таблиця 5

Структура і динаміка капітальних інвестицій в аграрний сектор економіки України*, млн. грн.

КВЕД-2010	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2022 до 2014 = %
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
УСЬОГО (А=01+02+03);	18796	30155	50484	64243	66104	59130	50680	69966	51356	273,2
З нього:										
01 Сільське господарство, мисливство та надання пов'язаних з ними послуг, з неї:	18176	28983	49498	63263	65560	59333	50146	68021	49550	272,6
01.1 вирощування однорічних та дворічних культур	13203	21297	40996	54037	52694	45302	39590	54691	39130	296,4
01.2 вирощування багаторічних культур	421	544	831	912	1410	1037	763	1154	747	177,4
01.3 відтворення рослин	62	31	42	86	31	46	70	48	33	53,2
01.4 тваринництво	3474	6086	6154	6929	9626	10271	9275	9641	8170	235,2
01.5 змішане сільське господарство	72	168	291	331	398	338	260	423	299	276,4
01.6 допоміжна діяльність у сільському господарстві та післяурожайна діяльність	942	856	1181	964	1342	2188	1146	2029	к/с	215,4
01.7 мисливство, відловлювання тварин та надання пов'язаних із ними послуг	к/с	к/с	к/с	к/с	к/с	151	43	6	к/с	...
02 Лісове господарство та лісозаготівлі, з неї:	380	784	768	767	959	546	459	1407	1443	379,7
02.1 лісівництво та інша діяльність у лісовому господарстві	66	120	138	156	217	187	142	393	291	440,9
02.2 лісозаготівлі	275	602	585	551	676	341	297	986	1136	413,1
02.3 збирання дикорослих недревних продуктів	0,3	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1	-	0,8	0,5	166,7
02.4 надання допоміжних послуг у лісовому господарстві	38	62	44	59	66	18	20	28	16	42,1
03 Рибне господарство, з неї:	27	31	54	54	57	31	29	538	362	1340,7
03.1 рибальство	15	12	32	16	16	13	к/с	332	330	2200,0
03.2 рибництво (аквакультура)	12	19	22	38	41	18	к/с	206	32	266,7
Довідково:										
Основні засоби: сільське господарство, мисливство та зв'язані з ними послуги, млн. грн.	167283	205575	264859	335302	399526	460475	530721	583508	н/д	348,8
Знос основних засобів, %	38,4	37,8	36,9	35,4	35,1	38,0	39,9	40,8	н/д	2,4
Валова продукція сільського господарства, 1990 р.= 100%	92,6	88,2	93,8	91,7	99,2	100,6	90,4	103,4	78,6	-14,0
Прибуток чистий, млн. грн.	21391	101894	89789	68240	70420	92840	81465	237606	84822	396,5
Амортизація, млн. грн.						38205	40746	45898	н/д	...
Прибуткові підприємства, %	84,9	88,9	88,4	86,7	86,7	83,4	82,9	88,7	78,5	-6,4
Індекс цін на продукцію сільського господарства, %	145,1	166,0	107,6	111,8	104,4	86,6	153,6	116,7	100,1	-45,0

*Складено та розраховано за даними Державної служби статистики України: Капітальні інвестиції підприємств за видами економічної діяльності в 2010-2022 рр.; Наявність і рух матеріальних активів за 2010–2021 рр.

Що стосується використання інвестицій за видами економічної діяльності, то в сільському господарстві склалася наступна ієрархія (2021 р.): 01.1 вирощування однорічних та дворічних культур (80,4%), 01.4 тваринництво (14,2%), 01.6 допоміжна діяльність у сільському господарстві та післяурожайна діяльність (3,0%), 01.2 вирощування багаторічних культур (1,7%). Це повністю співпадає з масштабами виробництва та реалізації продукції цими видами економічної діяльності: з 891 млрд грн. продукції сільського господарства (2021 р.) 01.1 реалізувало 785 млрд грн. (88,1%), 01.4 – 75 млрд грн. (8,4%), 01.6 – 18,4 млрд грн. (2,1%), 01.2 – 6,4 млрд грн. (0,7%). Отже масштаби економічної діяльності повністю корелюють з напрямками спрямування та масштабами освоєння інвестиційних ресурсів.

Викликає значний інтерес і різке посилення інвестиційної діяльності у 2021 р. порівняно з попереднім роком: у розділі 02 Лісове господарство та лісозаготівлі з 459 млн грн. до 1407 млн грн., тобто утричі більше, а у розділі 03 Рибне господарство з 29 млн грн. до 538 млн грн., тобто у 18,5 рази більше. Причини ситуації були проаналізовані вище.

На особливу увагу заслуговує динаміка і структура капітальних інвестицій за основними напрямками вкладання (табл. 6). Напрями вкладання інвестиційних ресурсів поділяються на два основних (у матеріальні і нематеріальні активи) та шість (чотири плюс два) диференційованих (часткових). Якщо загалом обсяги інвестицій у досліджуваному періоді збільшилися на 272,5% і дещо менше у матеріальні активи (267,9%), то в нематеріальні – у 15,2 рази. Серед матеріальних активів лідерство тримають напрям «вкладення інвестицій у машини та обладнання» 285,6% (частка інвестицій збільшилася з 64,2% і становила у кінці досліджуваного періоду 67,3%) і напрям «у будівництво та перебудову будівель» 224,1% (частка зменшилася з 22,1% до 18,1%), але практично удвічі менше за напрямом «в існуючі будівлі та споруди» 125,5% (відповідно 1,8% та 0,8%) та різко зменшилося вкладання інвестицій за напрямом «у землю» 65,1% (відповідно 0,5% та 0,1%). Розподіл інвестицій за напрямками вкладання свідчить, що аграрні підприємства перш за все орієнтуються на технічну модернізацію діючого сільськогосподарського виробництва та освоєння нових інноваційних технологій вирощування продукції, а вже потім на спорудження нових і реконструкцію діючих виробничих будівель та споруд.

Що стосується нематеріальних активів, то їхня частка в структурі капітальних інвестицій збільшилася у досліджуваному періоді з 0,4% до 2,1% (у 15,2 рази за абсолютними показниками), але значно зменшилася за напрямом «у концесії, патенти, ліцензії, торговельні марки і аналогічні права» (з 0,048% до 0,003%) і практично збереглася за напрямом «у придбання програмного забезпечення» (на рівні 0,125%). Пояснення такому «парадоксу» знаходиться, на нашу думку, у визначенні вказаних активів. Зокрема, під нематеріальними активами в пункті 6 частини першої статті 46 Закону України «Про запобігання корупції» розуміються об'єкти права інтелектуальної власності, що можуть бути оцінені в грошовому еквіваленті (патент на винахід, корисну модель, ноу-хау, промисловий зразок, права на топографію інтегральної мікросхеми, сорт рослин, торгову марку чи комерційне найменування, авторське право тощо), а також право на використання надр чи інших природних ресурсів тощо. Під нематеріальним активом слід також розуміти ліцензії на право користування об'єктами інтелектуальної власності, що належать суб'єкту декларування або члену його сім'ї. Отже, унаслідок того, що в табл. 6 акцентується увага на промислових видах нематеріальних активів, а сільськогосподарські види (сорт рослин) не згадуються, які є основними для аграрного сектора, тому мало місце різке зменшення їх частки. Отже, основне навантаження у попередньому абзаці полягає у наступному: неважливо хто звітується, але оскільки у нематеріальних активах відсутні сільськогосподарські (сорт рослин) активи, а мають місце лише промислові види, то це і є основна причина, що унаслідок цього відбулося різке зменшення їх частки в табл. 6.

Таблиця 6

Динаміка і структура капітальних інвестицій у сільське господарство України*, тис. грн.

Роки	Капітальні інвестиції, усього	У тому числі:							
		Капітальні інвестиції у матеріальні активи	з них:				Капітальні інвестиції у не матеріальні активи	з них:	
			у землю	В існуючі будівлі та споруди	У будівництво та перебудову будівель	У машини та обладнання		У концесії, патенти, ліцензії, торговельні марки і аналогічні права	У придбання програмного забезпечення
2014	18175515	18106866	86972	329025	4011595	11668847	68649	8762	22659
2015	28983114	28813268	51658	986240	5558539	19324763	169846	3823	22622
2016	49497718	49231555	95392	572194	7452890	37676540	266163	2498	34557
2017	63262939	62664514	152568	400210	9648129	48433030	598425	10783	49632
2018	65559593	64252982	192955	2162597	12152795	44844023	1306611	5226	56493
2019	59332931	57936339	316584	1085572	11988236	37537085	1396592	41170	38298
2020	50145943	49255915	271439	615575	10154498	32657260	890028	5647	43582
2021	68021358	66341332	179483	1080375	12253169	46586730	1680026	9765	103979
2022	49550064	48504647	56692	412697	8989602	33336561	1045417	1342	62413
2022 : 2014=%	272,5	267,9	65,1	125,5	224,1	285,6	1522,8	15,3	275,4
2014 = %	100	99,6	0,5	1,8	22,1	64,2	0,4	0,048	0,125
2022 = %	100	97,9	0,1	0,8	18,1	67,3	2,1	0,003	0,126

* Складено та розраховано за: : Капітальні інвестиції підприємств за видами економічної діяльності в 2010–2022 рр.

Висновки. Розвиток розділів і груп підприємств первинного виробництва проходить у складних умовах, що включають періоди аграрних криз, які чергуються з низкою локальних спадів і підйомів, й завершуються етапом воєнного стану та супроводжуються посиленням турбулентності у зовнішньому і внутрішньому середовищі. У цьому зв'язку сталий розвиток різних груп суб'єктів господарювання первинного виробництва визначається через кризовостійкість їх підприємницької діяльності та отримання сталих економічних результатів на досліджуваному періоді часу, зокрема: виробництва та реалізації продукції, отримання чистого прибутку, рентабельності операційної і всієї. Стабільних позитивних результатів господарювання у досліджуваному періоді 2014-2022 рр. досягли наступні групи підприємств: 01.1 вирощування однорічних та дворічних культур; 01.3 відтворення рослин; 01.4 тваринництво і весь розділ 02 Лісове господарство та лісозаготівлі

Водночас кризовонестійкими, але за різного періоду часу були наступні групи підприємств: 01.7 мисливство, відловлювання тварин та надання пов'язаних із ними послуг – 9 збиткових років; розділ 03 Рибне господарство – 6 збиткових років, з них: 03.1 рибальство – 4 роки та 03.2 рибицтво (аквакультура) – 7 років; 01.5 змішане сільське господарство і 01.6 допоміжна діяльність у сільському господарстві та післяурожайна діяльність – по 5 років кожна; 01.2 вирощування багаторічних культур – один (2022) рік. Остання (01.2) група підприємств опинилася у групі кризовонестійких тільки в умовах воєнного стану. Це пояснюється тим, що істотно зменшилася площа земель, зайнятих під багаторічними культурами, унаслідок окупації значної частини з них й відповідного зменшення обсягів вирощування та реалізації урожаю.

Для забезпечення сталого розвитку підприємств у повоєнний період необхідно буде відродити їх потенціал до довоєнних розмірів за рахунок гуманітарного розмінування замінованих територій та введення цих земель у господарський обіг, провести інноваційно-технологічну модернізацію, автоматизацію і цифровізацію аграрних господарств, забезпечити перехід до розумного землеробства (включає інтернет речей, комп'ютерний зір і штучний інтелект) й землеробства в закритому просторі (indoor farming), що сприятиме ефективному використанню часу та ресурсів і зниженню втрат врожаю. Впровадження роботів і дронів знижуватиме рівень ручної праці та підвищуватиме ступінь автоматизації ферм, також доцільне їх використання при зборі фруктів, знищенні бур'янів, дощуванні городніх і садових культур. Ці та інші агротехнологічні інновації сприятимуть підвищенню кризовостійкості розвитку різних підприємств первинного виробництва.

Бібліографія

1. Герасимів З. М. Проблемні аспекти розвитку сільського господарства. Економіка і суспільство. 2017. № 9. С. 162–165.
2. Шуст О. А., Свиноус І. В., Ібатуллін М. І., Сіра Ю. В., Артимонова І. В. Організаційно-економічні засади функціонування молочного скотарства в умовах воєнного стану в Україні. Продовольчі ресурси. 2023. Т. 11. № 20. С. 265–273. <https://doi.org/10.31073/foodresources2023-20-26>.
3. Ібатуллін М. І., Артимонова І. В., Свиноус Н. І., Сіра Ю. В. Економічні аспекти функціонування ринку молока та молокопродуктів в умовах запровадження військового стану. Інноваційна економіка. 2022. № 2–3. С. 5–10. <https://doi.org/10.37332/2309-1533.2022.2-3.1>.
4. Радько В. І. Підвищення стійкості виробників продукції молочного скотарства: теорія, діагностика та функціональне забезпечення. К.: НУБіП, 2018. 384 с.
5. Дмитрієва В. А. Ефективність сільського господарства України: порівняльний аналіз в розрізі країн. Modern Economics. 2021 № 26. С. 37–43. [https://doi.org/10.31521/modecon.V26\(2021\)-06](https://doi.org/10.31521/modecon.V26(2021)-06).
6. Salazar O., Rojas C., Baginsky C., Boza S., Lankin G., Muñoz-Sáez A., Pérez-Quezada J., Pertuzé R., Renwick L. L. R., Székács A., Altieri M. Challenges for agroecology development for the

building of sustainable agri-food systems. *Int. J. Agric. Nat. Resour*, 2020, № 47 (3), 152–158. <http://dx.doi.org/10.7764/ijanr.v47i3.2308>.

7. Dmytriieva V., Sviatets Yu. Turning points in agriculture development in Ukraine: results of analysis on the base of purified data. *Agricultural and Resource Economics*, 2021, № 7 (1), 5–21. <https://doi.org/10.51599/are.2021.07.01.01>.

8. Nigatu G., Adjemian M. A wavelet analysis of price integration in major agricultural markets. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 2020, vol. 52 (1), P. 117–134. <https://doi.org/10.1017/aae.2019.35>.

9. Самарець Н., Нужна С. Формування аграрної складової українського товарного експорту. *Економіка. Екологія. Соціум*. 2019. № 3. С. 34–47. <https://doi.org/10.31520/2616-7107/2019.3.1-4>.

References

1. Herasymiv, Z. M. (2017). Problemni aspekty rozvytku silskoho hospodarstva. [Problem aspects of agricultural development]. *Ekonomika i suspilstvo*. [Economy and society]. Issue 9. P. 162–165. [in Ukrainian].

2. Shust, O. A., Svynous, I. V., Ibatullin, M. I., Sira, Yu. V., Artimonova, I. V. (2023). Orhanizatsiino-ekonomichni zasady funktsionuvannia molochnoho skotarstva v umovakh voiennoho stanu v Ukraini. [Organizational and economic principles of the functioning of dairy farming in the conditions of martial law in Ukraine]. *Prodovolchi resursy*. [Food resources]. Vol. 11. № 20. P. 265–273. <https://doi.org/10.31073/foodresources2023-20-26>. [in Ukrainian].

3. Ibatullin, M. I., Artimonova, I. V., Svynous, N. I., Sira, Yu. V. (2022). Ekonomichni aspekty funktsionuvannia rynku moloka ta molokoproduktiv v umovakh zaprovadzhennia viiskovoho stanu. [Economic aspects of the functioning of the milk and milk products market in the conditions of the introduction of martial law]. *Innovatsiina ekonomika*. [Innovative economy]. № 2–3. P. 5–10. <https://doi.org/10.37332/2309-1533.2022.2-3.1>. [in Ukrainian].

4. Radko, V. I. (2018). Pidvyshchennia stiikosti vyrobnykiv produktsii molochnoho skotarstva: teoriia, diahnostyka ta funktsionalne zabezpechennia. [Increasing the sustainability of producers of dairy products: theory, diagnostics and functional support]. K.: NULES. 384. [in Ukrainian].

5. Dmytriieva, V. A. (2021). Efektyvnist silskoho hospodarstva Ukrainy: porivnialnyi analiz v rozrizi krain. [Effectiveness of agriculture in Ukraine: a comparative analysis by country]. *Modern Economics*. № 26. P. 37–43. [https://doi.org/10.31521/modecon.V26\(2021\)-06](https://doi.org/10.31521/modecon.V26(2021)-06). [in Ukrainian].

6. Salazar, O., Rojas, C., Baginsky, C., Boza, S., Lankin, G., Muñoz-Sáez, A., Pérez-Quezada, J., Pertuzé, R., Renwick, L. L. R., Székács, A., Altieri, M. Challenges for agroecology development for the building of sustainable agri-food systems. *Int. J. Agric. Nat. Resour*, 2020, № 47 (3), 152–158. <http://dx.doi.org/10.7764/ijanr.v47i3.2308>.

7. Dmytriieva, V., Sviatets, Yu. Turning points in agriculture development in Ukraine: results of analysis on the base of purified data. *Agricultural and Resource Economics*, 2021, № 7 (1), 5–21. <https://doi.org/10.51599/are.2021.07.01.01>.

8. Nigatu, G., Adjemian, M. A wavelet analysis of price integration in major agricultural markets. *Journal of Agricultural and Applied Economics*, 2020, vol. 52 (1), pp. 117–134. <https://doi.org/10.1017/aae.2019.35>.

9. Samarets, N., Nuzhna, S. (2019). Formuvannia ahrarnoi skladovoi ukrainskoho tovarnoho eksportu. Formation of the agrarian component of Ukrainian commodity exports. *Economy. Ecology. Society*. Issue 3. P. 34–47. <https://doi.org/10.31520/2616-7107/2019.3.1-4>. [in Ukrainian].

УДК 338.432:338

ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНВЕСТИЦІЙ В ІННОВАЦІЙНУ МОДЕРНІЗАЦІЮ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ ДЛЯ СПРИЯННЯ СТАЛОМУ РОЗВИТКУ УКРАЇНИ**Коваленко О. В.**, д.е.н., с.н.с.,

зав. відділу економічних досліджень,

<https://orcid.org/0000-0001-8364-3316>

Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-29>

Предмет. Теоретико-методологічні та практичні засади інноваційного розвитку харчової промисловості. **Мета.** Оцінити ефективність інноваційної діяльності в харчовій промисловості України, а також інтенсивність інвестицій в інноваційну модернізацію харчової промисловості України для сприяння сталому розвитку країни в кризових умовах. **Методи.** Для оцінки ефективності інноваційної діяльності в галузях промисловості у роботі застосовано методи теоретичних узагальнень та порівнянь. При систематизації розрахункових показників інтенсивності інвестицій в інноваційну модернізацію підгалузей харчової промисловості використано прийоми ранжування та групування. Методи екстраполяції та середніх величин застосовано для визначення темпів зростання (спадання) обсягів реалізації інноваційної продукції харчової промисловості. Інтенсивність інвестицій в науково-дослідні розробки (НДР) визначено за методикою ОЕСР, адаптованою до умов обмеженої статистичної інформації шляхом уточнення видів витрат на НДР, що дало можливість по-новому оцінити ефективність інвестицій, вкладених в інноваційну модернізацію підгалузей харчової промисловості. **Результати.** Оцінено стан інноваційного розвитку харчової промисловості в Україні та інтенсивність інвестицій в науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи в країнах Євросоюзу. Встановлено принципи та пріоритетні напрями досліджень в сфері інновацій в ЄС. Виявлено сильні та слабкі сторони інноваційної діяльності в Україні, сфери інноваційного розвитку, в яких інноваційна система країни досягла успіхів. Розраховано коефіцієнти інтенсивності інвестицій в НДР за видами економічної діяльності в Україні. В зв'язку з відсутністю релевантних даних офіційної статистики, для визначення рівня технологічності окремих підгалузей харчової промисловості розраховано коефіцієнти інтенсивності капітальних інвестицій, вкладених у нематеріальні активи (програмне забезпечення, патенти, ліцензії, торговельні марки, концесії, аналогічні права), без яких неможливе оновлення технологічних процесів. За допомогою статистичного групування коефіцієнти розділено на три групи: з високим, середнім і низьким рівнем інтенсивності інвестицій в інноваційний розвиток. Зроблено висновок про те, що незважаючи на низький рівень технологічності харчової промисловості в Україні, окремі її підгалузі у міру власних фінансових можливостей, є достатньо ефективними завдяки інтенсивності інвестицій в НДР, забезпечують зростання прибутку й рентабельності виробництва, сприяють підвищенню конкурентоспроможності та забезпеченню сталого розвитку національної економіки. **Сфера застосування результатів.** Результати дослідження щодо оцінки ефективності інвестицій в інноваційну модернізацію харчової промисловості можуть стати джерелом наукової інформації в подальших наукових дослідженнях і використовуватися науковими працівниками економічного профілю, викладачами, здобувачами вищої освіти.

Ключові слова: ефективність, інноваційна модернізація, інтенсивність інвестицій в НДР, капітальні інвестиції, харчова промисловість, сталий розвиток, кризові умови

EFFICIENCY OF INVESTMENTS IN INNOVATIVE MODERNIZATION OF THE FOOD INDUSTRY TO PROMOTE SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF UKRAINE**Olha Kovalenko**, D-r of Sc., Economics, Senior Researcher,

Head of the Department of Economic Research

<https://orcid.org/0000-0001-8364-3316>

Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

Subject. Theoretical, methodological and practical foundations of innovative development of the food industry. **Purpose.** To assess the effectiveness of innovation activities in the food industry of Ukraine, as well as the intensity of investments in innovative modernization of the food industry of Ukraine to promote sustainable development of the country in crisis conditions. **Methods.** To assess the effectiveness of innovation activities in the industries, the paper uses methods of theoretical generalizations and comparisons. When systematizing the calculated indicators of investment intensity in innovative modernization of sub-sectors of the food industry, ranking and grouping techniques were used. Extrapolation and average value methods are used to determine the growth (decrease) rates of sales of innovative products in the food industry. The intensity of investment in research and development (R&D) was determined using the OECD methodology, which was adapted to the conditions of limited statistical information by specifying the types of R&D expenditure, which made it possible to re-evaluate the effectiveness of costs invested in innovative modernization of sub-sectors of the food industry. **Results.** The state of innovative development of the food industry in Ukraine and the intensity of investment in research and development work in the EU countries were assessed. The principles and priority areas of research in the field of innovation in the EU are established. The article identifies the strengths and weaknesses of innovation activities in Ukraine, as well as the areas of innovative development in which the country's innovation system has achieved success. The coefficients of investment intensity in R&D by types of economic activity in Ukraine are calculated. Due to the lack of relevant official statistics to determine the level of technological effectiveness of individual sub-sectors of the food industry, the coefficients of intensity of capital investments invested in intangible assets (software, patents, licenses, trademarks, concessions, similar rights), without which it is impossible to update technological processes. By means of statistical grouping, the coefficients are divided into three groups according to the level of intensity of investments in innovative development: with high, medium and low intensity. It is concluded that despite the low level of technology in the food industry in Ukraine, its individual sub-sectors, according to their own financial capabilities, are quite effective due to the intensity of investments in R&D, ensure growth in profits and production profitability, contribute to increased competitiveness and sustainable development of the national economy. **Scope of results.** The results of the study on the assessment of the effectiveness of investments in innovative development of the food industry can become a source of scientific information in further scientific research and be used by researchers in the economic profile, teachers, and applicants for higher education.

Key words: efficiency, innovative modernization, intensity of investments in R&D, capital investments, food industry, sustainable development, crisis conditions.

Постановка проблеми. Активна фаза війни в Україні, що почалася у лютому 2022 року, кардинально змінила перспективи її розвитку на найближчі роки. Чимало аналітиків прогнозують у недалекому майбутньому значне скорочення виробництва та зниження економічної активності через зруйновану інфраструктуру, порушені ланцюги постачання товарів, міграцію населення. Вступ в ЄС все ще залишається для України віддаленою перспективою, проте економіка країни є відносно відкритою й активно розширює торгівлі відносини з країнами Євросоюзу. Обмеження існуючої інфраструктури, зруйнованої загарбниками, стало перешкодою європейській інтеграції України й зумовило пошук альтернативних експортних маршрутів. Незважаючи на те, що можливості торгівлі були послаблені війною, в експорті товарів значну частку становить сільськогосподарська і харчова продукція.

Війна, євроінтеграційні та глобалізаційні процеси загострюють питання інноваційного розвитку в Україні й потребують моніторингу ефективності наукових досліджень в напрямі інноваційної модернізації галузей економіки, у тому числі в харчовій промисловості.

Для розкриття потенціалу України потрібні подальші реформи. Важливим здобутком останніх років у цій сфері стало швидке зростання обсягів послуг інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ), що становили близько 5% від загального обсягу послуг. Це свідчить про потенціал країни для зростання та диверсифікації. Однак є багато факторів, які підривають інноваційні показники України, які значно відрізняються від аналогічних показників в ЄС. Незважаючи на вже проведені реформи, конкурентне

середовище все ще залишається несприятливим для бізнесу, а продуктивність праці – низькою (UNECE, 2024 [1]).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Сучасне соціально-економічне середовище та глибокі політичні та інституційні зміни на початку нового століття стали тригером для впровадження стійких інновацій в багатьох країнах світу. Ці зміни вплинули й на продовольчий сектор, який нині орієнтований на виробництво здорових і безпечних продуктів, унікальних і водночас прийнятних для певних груп споживачів. Водночас їжа є втіленням національних традицій та спадщини, місцевих знань, які відіграють вирішальну роль при виборі продукції споживачами. Тому багато зарубіжної літератури в продовольчому секторі присвячено відкритим та стійким інноваціям (Fertő, 2016; Triguero, 2018 [2; 3]), чинникам та інструментам, що стимулюють інноваційні процеси (Finco, 2018; Bucci, 2019 [4; 5]), а також впливу інновацій на ланцюги створення вартості (Stanco, 2020; Zilberman, 2018 [6; 7]). Окремі дослідження фокусуються на моделях управління колективними інноваціями, які в продовольчому секторі вважаються особливо вигідними, оскільки дають можливість залучати та обмінюватися зовнішніми знаннями, технологіями, сприяють прискоренню інноваційних процесів, випуску якіснішої продукції, збільшенню доданої вартості (Minarelli, 2015; Caiazza, 2016 [8; 9]).

Питання інноваційного розвитку підприємств харчової промисловості були розглянуті також в працях українських вчених: Д. Крисанова [10]; М. Бердар [11]; В. Гарбара [12]; М. Міненка [13]; О. Шпикуляка [14] та інших.

Водночас харчова промисловість є важливою галуззю економіки, що потребує більшої уваги до інструментарію оцінювання ефективності інвестицій в науково-дослідні розробки та джерела знань, які можуть бути використані для інновацій у цій галузі.

Мета. Оцінити ефективність інноваційної діяльності в харчовій промисловості України, а також інтенсивність інвестицій в інноваційну модернізацію харчової промисловості України для сприяння сталому розвитку країни в кризових умовах.

Матеріали та методи. Результати досліджень підтверджують, що використання різних типів інновацій пов'язані з різними типами джерел знань та спеціальним методологічним інструментарієм для їх застосування. З метою оцінки ефективності інноваційної діяльності в галузях промисловості у роботі застосовано методи теоретичних узагальнень та порівнянь. При систематизації розрахункових показників інтенсивності інвестицій в інноваційну модернізацію підгалузей харчової промисловості використано прийоми ранжування та групування. Методи екстраполяції та середніх величин застосовано для визначення темпів зростання (спадання) обсягів реалізації інноваційної продукції харчової промисловості.

Інтенсивність інвестицій в інноваційний розвиток за методикою ОЕСР зазвичай розраховується як відношення витрат на науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи (НДДКР) до показника валової доданої вартості (ВДВ) або валового виробництва (OECD, 2016 [15]). Цей показник слугує критерієм ранжування та класифікації видів економічної діяльності. У пропонованому дослідженні цю методику адаптовано до умов обмеженої статистичної інформації шляхом уточнення видів інвестицій в НДР, що дало можливість по-новому оцінити інтенсивність інвестицій, вкладених в інноваційну модернізацію підгалузей харчової промисловості.

Результати та обговорення. Загальновідомо, що наукові дослідження та розробки, які покладені в основу інновацій та технологій, здатні покращити повсякденне життя мільйонів людей по всьому світу, допомагаючи вирішувати деякі з найважливіших соціальних, екологічних та економічних проблем.

Події минулого десятиліття пряма військова агресія РФ проти України, поглиблення глобалізаційних та євроінтеграційних процесів, прагнення досягнути поставлених цілей сталого розвитку – поставили перед Україною чимало проблем, вирішення яких безпосередньо впливає як на всю економіку країни, так і на сталий розвиток харчової

промисловості. Однією з таких проблем є значне відставання рівня розвитку промисловості України від європейських країн, зокрема її інноваційної діяльності. Значно нижчий розвиток інформаційних і технологічних процесів потребують інтенсифікації та інноваційної модернізації.

Слід зазначити, що харчова промисловість впродовж 2010–2022 років демонструвала позитивну тенденцію в отриманні доходів від реалізації продукції, частка якої в структурі реалізованої промислової продукції знаходилась в межах від 18 до 23%. У 2022 році цей показник дорівнював 19,9%. Найбільший дохід від реалізації продукції галузь отримала у 2021 році – 960,6 млрд грн, що майже в чотири рази більше, ніж у 2010 році. В період активної фази війни 2022 року було реалізовано продукції на 17% менше, ніж у попередньому році (рис. 1).

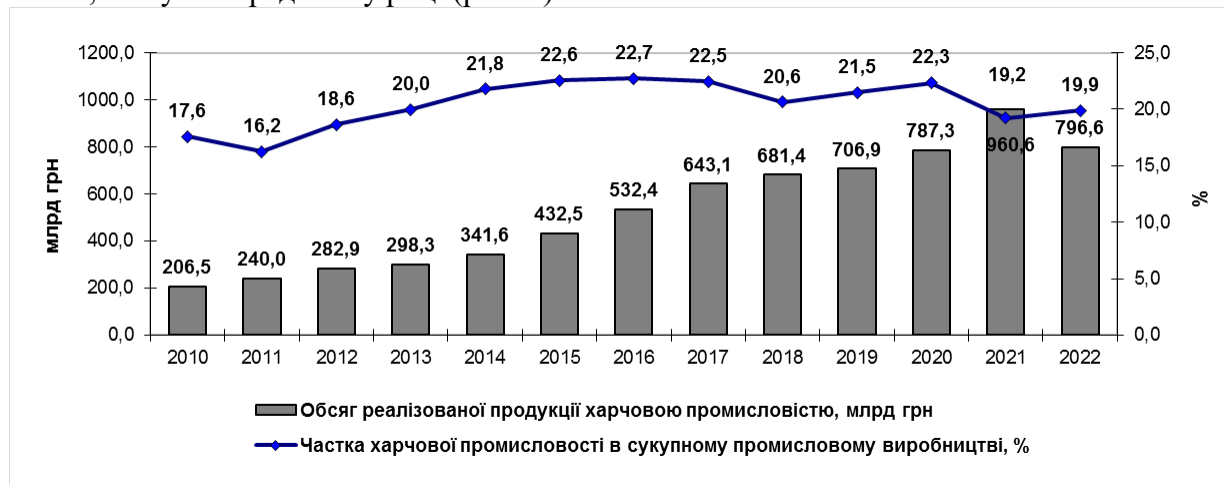


Рис. 1. Обсяг реалізованої продукції харчовою промисловістю та частка галузі в промисловому виробництві за 2010-2022 рр., млрд грн, %

Джерело: Сформовано за даними Держстату України.

Кількість інноваційно активних підприємств у харчовій промисловості за період з початку військових дій в Україні (з 2014 року) помітно зменшилася. У 2021 році в галузі функцінувало лише 99 інноваційно активних підприємств, що майже в 4 рази менше, ніж у 2013 році (в довоєнний період). Відповідно зменшилася й частка цих підприємств в загальній кількості промислових підприємств харчової промисловості – до 1,56% у 2021 році проти 6,21% у 2013 році (рис. 2).



Рис. 2. Кількість інноваційно активних підприємств харчової промисловості

Джерело: Сформовано за даними Держстату України.

Динаміка обсягів реалізації інноваційної продукції в харчовій промисловості впродовж 2014–2021 років демонструвала волатильність, а середній темп її зміни становив 0,9, тобто тенденція тяжіла до зниження. Частка інноваційної продукції в реалізованій продукції галузі змінювалась за цей період від 0,9 до 1,3%. Сукупний дохід від реалізації інноваційної продукції у 2021 році отримано в сумі 3285 млн грн, що майже вповнину менше ніж роком раніше. Дуже нерівномірно змінювались також обсяги реалізації інноваційної продукції нової для ринку, що 2021 року становили 1015,1 млн грн або 0,8% в обсязі інноваційної продукції (рис. 3).

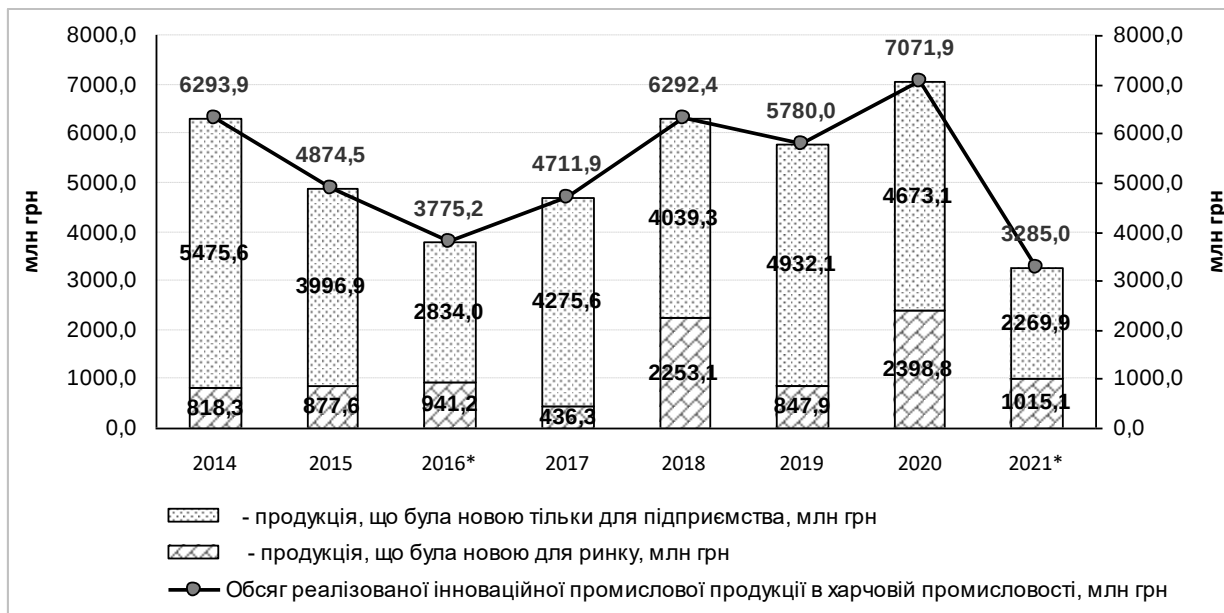


Рис. 3. Обсяг реалізованої інноваційної продукції харчовою промисловістю за 2014–2021 рр., млн грн

Джерело: Сформовано за даними Держстату України.

*окремі показники в цих роках, за відсутності фактичних даних, обчислено шляхом екстраполяції.

Підприємства української харчової промисловості, за відсутності належних фінансових можливостей, намагаються розробляти та впроваджувати інновації власними силами. Обсяги інноваційних витрат не демонструють стійкої тенденції, вони є чутливими до загальноекономічних умов функціонування підприємств (Гарбар, 2020 [16]).

Оскільки офіційна статистика не наводить фактичних даних щодо витрат на інновації за 2021–2023 роки, а за попередні роки такі дані наведені лише частково, можемо відмітити, що 2020 року витрати на інновації у виробництві харчових продуктів і напоїв становили 3509,0 млн грн, що в 2,4 раза більше, ніж у 2018 році. З цієї суми лише 5,3% було використано на науково-дослідні роботи, що виконувалися власними силами, і 2,4% – силами інших підприємств. Решта коштів спрямовувалася на технічне переоснащення виробництва, у тому числі на придбання машин, обладнання та програмного забезпечення.

Позитивною тенденцією інноваційного розвитку підприємств харчової промисловості впродовж минулих років є залучення їх до інноваційного партнерства або співробітництва. Так, 2020 року 156 інноваційно активних підприємств були залучені до такого співробітництва, з них 143 – знайшли партнерів в Україні, 39 – в країнах ЄС або Європейській асоціації вільної торгівлі, 15 – в інших країнах.

Партнерські стосунки і співробітництво України з країнами Євросоюзу вимагають ретельного вивчення їхнього досвіду щодо розвитку інноваційного потенціалу в харчовій промисловості.

Нині, серед інновацій, важливе місце відводиться комп'ютерним і цифровим технологіям, що стало основним трендом у виробництві харчових продуктів. Це підтверджують аналітичні дані західних аналітиків. На їх думку, ефективні інновації здатні "поставити економіку на міцну, диверсифіковану і добре інтегровану основу для довгострокового сталого розвитку" [17]. Причини, за якими керівники компаній у сфері виробництва почали більше уваги приділяти питанням підвищення комп'ютеризації та цифровізації своїх технологічних процесів, полягають, в тому, що така інноваційна адаптація дає можливість підвищувати конкурентоспроможність підприємств за рахунок зростання ефективності виробництва та продуктивності праці, збільшення прибутку, економії фінансових ресурсів.

Амбітним планом економічного розвитку Євросоюзу став Пакт про дослідження та інновації в Європі (Рекомендація Ради (ЄС) 2021/2122), яким передбачено інвестування не менше 3% свого ВВП країнами ЄС у науково-дослідні і дослідно-конструкторські роботи (НДДКР), а також встановлено низку принципів та пріоритетних напрямів для досліджень та інновацій у ЄС, зокрема:

- пріоритетність інвестицій та реформ для прискорення зелених та цифрових перетворень;
- покращення доступу до передового досвіду та більш ефективних досліджень через інноваційну екосистему, де передовий досвід поширюється швидше;
- передача результатів досліджень та інновацій для підвищення стійкості та конкурентоспроможності економіки та суспільства ЄС;
- поглиблення Європейського дослідницького простору для досягнення подальшого прогресу у сфері вільного поширення знань у ефективній та дієвій екосистемі досліджень та інновацій.

Освіта, навчання, у т.ч. безперервне навчання, вважаються життєво важливими для розвитку інноваційного потенціалу. При цьому університети по всьому ЄС залучені до комерціалізації досліджень та співпраці з бізнесом. Для розвитку та розширення своєї економіки, заснованої на знаннях, ЄС постійно залучає висококваліфікованих фахівців. У 2023 році загалом по ЄС у високотехнологічних секторах було зайнято 5% населення, зокрема: у Східному і Середньому регіоні – в середньому 11,5%; Південно-західному регіоні – 10,2%; Братиславському краї – 10,9%; Будапешті – 12,7%, Стокгольмі – 11,1%, Загребі – 11,0%, Гельсинкі – 10,9%, Варшаві – 10,1%. Найвищий рівень зайнятості у високотехнологічних секторах був зафіксований у чеській столиці Празі – 12,7% (Eurostat, 2024 [18]).

НДДКР вважаються не лише творчою, а й систематичною роботою, що здійснюється для збільшення обсягу знань, розроблення нових чи розширення існуючих знань. *Валові внутрішні витрати* на НДДКР (ВРНДДКР) включають витрати на дослідження, що здійснюються підприємствами, вищими навчальними закладами, урядами та приватними некомерційними організаціями. У 2021 році ВРНДДКР ЄС оцінювалися в 331,0 млрд євро, а в 2022 році – 354,7 млрд євро (у поточних цінах), тобто збільшилися на 7,1%.

Виконання НДДКР, як правило, концентрується у кластерах. Регіони з інтенсивною науково-дослідною діяльністю часто розташовуються навколо академічних інститутів, наукових парків, високотехнологічної промислової діяльності та/або послуг, що базуються на знаннях. Регіони з кластерами інноваційної діяльності зазвичай розвивають системи, що самовідтворюються: концентрація конкурентоспроможних і кооперативних підприємств у суміжних видах діяльності може залучати стартапи, інших учасників ринку та висококваліфікований персонал, що, у свою чергу, стимулює створення нових технологій та інноваційної продукції. В даний час такі кластери в основному зосереджені в містах, які характеризуються як великі ділові та університетські центри – як, наприклад, Штутгарт (Німеччина), Париж (Франція), Рига (Латвія) або урядові установи, як наприклад, в Брюсселі (Бельгія) або Франкфурті (Німеччина) [19].

Інтенсивність інвестицій в НДДКР часто використовується як міра визначення творчого або інноваційного потенціалу економіки і визначається відношенням інвестицій в НДДКР до валового внутрішнього продукту (ВВП). Незважаючи на незначне щорічне зростання за останні кілька десятиліть, інтенсивність інвестицій в НДДКР у ЄС залишається нижчою за встановлений цільовий показник у 3,0%. У 2021 році коефіцієнт середньої інтенсивності інвестицій в НДДКР в ЄС становив 2,27%, а в 2022 році – 2,24%. Однак в окремих регіонах (у 23 з 225) він досягав 3,3%. Це виключно регіони у західних та північних країнах ЄС: Німеччина (11 регіонів), Бельгія (4 регіони), Австрія та Швеція (по 3 регіони в кожній), по одному регіону у Франції та Фінляндії. У групі з 23 країн були присутні 4 столичні регіони, в яких зафіксовані такі коефіцієнти інтенсивності інвестицій: Відень в Австрії (4,04%), Гельсінкі у Фінляндії (3,77%), Стокгольм у Швеції (3,57%) та Берлін у Німеччині (3 37%) (Eurostat, 2024 [18]).

Регіони з високим рівнем інтенсивності інвестицій в НДДКР мають також високий рівень витрат на одну особу населення: найвищі показники у 2021 році мали кілька регіонів Німеччини – провінція Брабант Валлон, Штутгарт і Брауншвейг.

У найменш наукомістких країнах, таких як країни Балтії та деякі південні і східні держави-члени ЄС, найбільші витрати на НДР зазвичай несе державний сектор. Хоча державна система сприяє генеруванню знань і талантів, необхідних інноваційним підприємствам, все ж тільки через інвестиції в бізнес вдається якнайповніше реалізувати вплив на наукові дослідження і розробки [19].

Висновки експертів Європейської економічної комісії ООН (UNECE) щодо інноваційного потенціалу в окремих країнах пострадянського простору, які на їх погляд домоглися бурхливого економічного зростання, свідчать, що імпульс розвитку цих держав поступово сповільнюється. До числа вказаних країн потрапила й Україна, де ці зміни зумовлені серйозними потрясіннями. Політична і економічна нестабільність, а також ряд інших факторів стримують сталий економічний розвиток країни (UNECE, 2020 [20]).

У огляді інноваційної політики, представленому Європейською Економічною Комісією Організації Об'єднаних Націй (ЄЕК ООН) 2021 року зазначено, що ключові елементи успішної інноваційної системи в Україні вже створено:

- Україна демонструє тверду відданість інноваціям, підприємництву та науковим дослідженням, розробляє широкий спектр форм підтримки інновацій у приватному секторі, зокрема створено стратегію інноваційного розвитку (КМУ, 2019 [21]);
- робоча сила країни має високий рівень освіти і один із найвищих рівнів прийому до вищих навчальних закладів у світі;
- країна має потужний спадок фундаментальних та прикладних досліджень;
- очевидний потенціал економічного зростання демонструють зростаючі обсяги послуг аутсорсингу технологічних бізнес-процесів і економічна диверсифікація за рахунок інноваційного розвитку;
- іноземні інвестиції в окремих випадках стимулюють створення нових конкурентоспроможних секторів;
- країна розширює спектр інноваційної інфраструктури, створює технопарки, інкубатори, особливі економічні зони та аналогічні ініціативи.

Війна в Україні завдає значні збитки навколишньому середовищу, які необхідно усувати. Для вирішення екологічних проблем необхідні впровадження циклічної та зеленої економіки, зниження енергоємності промислових секторів, потреба в енергозабезпеченні яких лише підвищується. Частка відновлюваних джерел енергії в кінцевому споживанні енергії за останні п'ять років подвоїлася, але вона все ще низька. Останніми роками були започатковані нові ініціативи щодо модернізації управління відходами у межах виконання зобов'язань Угоди про асоціацію з ЄС з підвищення рівня їх переробки (UNECE, 2024 [1]).

У рекомендаціях Єврокомісії зазначається, що для того щоб повною мірою використовувати потенціал країни, необхідні інновації, а також спроможність забезпечувати і заохочувати широкі дослідження з ідеями та технологіями (UNECE, 2020 [22]). Такі дослідження створюватимуть для економіки на стійке, диверсифіковане та добре інтегроване підґрунтя для довгострокового сталого розвитку. Сильні сторони України полягають у її людському капіталі, зокрема, у добре освіченій робочій силі, давніх традиціях науково-технічних ресурсів, природних багатствах, доступі до ринків, великій та успішній діаспорі та досить плідному розвитку сектора ІКТ. Проте нормативні та інституційні обмеження, як спадок нестабільного політичного та економічного середовища недавнього минулого, стають на заваді конкурентоспроможності та ефективному перетворенню цих можливостей у вищі інноваційні показники. Низька участь ділового сектора у дослідженнях та розробках, дуже мала частка експорту високотехнологічних товарів і слабка здатність комерціалізувати інноваційні ідеї – все це перешкоджає переходу до економіки, що ґрунтується на знаннях, не дозволяючи Україні ефективно використовувати свої інновації та існуючі потужності (табл. 1).

Таблиця 1

Сильні та слабкі сторони інноваційної діяльності України

Досягнутий на даний час прогрес	Завдання на майбутнє
1. Відносно високі показники в галузі технологій та творчих результатів.	1. Збільшити частки високотехнологічної та середньо-технологічної продукції у загальному обсязі виробництва.
2. Значний набір до вищих навчальних закладів, що сприяє збільшенню кількості талантів у країні.	2. Збільшити державні та приватні інвестиції у НДДКР, зміцнити зв'язки між бізнесом та наукою та заохочувати оновлення технологій.
3. Значне зростання сектора ІКТ в останні роки та висока частка ІКТ у загальному обсязі торгівлі послугами та високотехнологічному експорті.	3. Комерціалізувати інноваційні ідеї, стимулюючи попит на внутрішньому ринку.
4. Задовільні показники доходів від інтелектуальної власності з-за кордону.	

Джерело: Appendix 2 – Country Overview. Ukraine Review (2020).

https://unece.org/DAM/ANNEX_2_RUSSIAN_IPO_Country_Snapshots.pdf

Нині переробка харчових продуктів стикається з серйозною проблемою, пов'язаною з тим, що саме споживачі визначають і вказують виробникам, що вони хотіли б споживати (Aguiler, 2006 [22]). Все частіше споживаються продукти, приготовлені поза домом, а споживачі водночас розраховують на їх безпечність для здоров'я. Населення стає все більш вимогливим до якості продукції та чутливим до збоїв у її постачанні. Постійна потреба в безпечних і доступних харчових продуктах зробила харчові технології й загалом харчову промисловість незамінними в житті суспільства. При цьому харчова промисловість безпосередньо причетна до забезпечення цілей сталого розвитку країни (зокрема цілей 2 і 9, згідно з Указом Президента України "Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року" №722/2019 від 30.09.2019 р.).

Ефективність науково-інноваційної діяльності в Євросоюзі визначається за шкалою технологічності галузей промисловості, запропонованою в методиці ОЕСР [15; 23], в основу якої покладено середньозважені коефіцієнти інтенсивності інвестицій в НДР (К_{індр} – визначається як відсоток витрат у доданій вартості окремого виду економічної діяльності). Галузі класифікують таким чином: якщо коефіцієнт вищий за 5%, то галузь має високу інтенсивність інвестицій в НДР і вважається високотехнологічною; від 2 до 5% – галузь з середньо-високою інтенсивністю або середньо-високотехнологічна; від 1 до 2% – галузь з середньою або низькою інтенсивністю або середньо-низькотехнологічна; нижче за 1% – галузь з низькою інтенсивністю інвестицій в НДР або низькотехнологічна.

Харчова промисловість в ЄС вважається галуззю із середньою-низькою інтенсивністю НДР, де середня інтенсивність інвестицій (або частка витрат на НДР у валовій доданій вартості) становить близько 1,44%. В окремих країнах-членах ЄС інтенсивність інвестицій в НДР харчової промисловості варіюється від 0,5% до 0,01%. Ці показники значно нижчі, ніж в інших галузях, таких як автомобілебудування (4,8%), програмне забезпечення (11,8%) або фармацевтика і біотехнології (15,4%) (European Commission, 2020 [15]). Це пов'язано з тим, що дослідницька діяльність у багатьох харчових компаніях зазвичай відіграє другорядну роль або не здійснюється взагалі. Однак ця сфера економіки надто неоднорідна. Чимало інновацій харчова промисловість отримує з інших секторів, завдяки яким інноваційні ресурси втілюються в обладнання, упаковку та інші виробничі матеріали (Menrad, 2004 [24]).

Розрахунки, здійснені за вищезгаданою методикою, свідчать, що в Україні коефіцієнт інтенсивності інвестицій в НДР в цілому по промисловості 2020 року становив 0,39%, тобто рівень її технологічності був низьким, але на 0,1 в.п. вищим, ніж у 2019 році. Серед окремих галузей промисловості, дані для розрахунків яких є у відкритому доступі Держстату України, високотехнологічних галузей взагалі не представлено. Середньотехнологічний рівень мали: виробництво основних фармацевтичних продуктів і фармацевтичних препаратів ($K_{\text{НДР}} = 3,92\%$), виробництво електричного устаткування ($K_{\text{НДР}} = 2,74\%$). Галузі з виробництва машин і устаткування, а також комп'ютерів, електронної та оптичної продукції були середньо-низькотехнологічними, оскільки їхній $K_{\text{НДР}}$ дорівнював 1,74% і 1,49% відповідно. Коефіцієнт інтенсивності інвестицій в НДР в харчовій промисловості України 2020 року становив 0,25% (вищим на 0,23 в.п. ніж у 2019 р.), що вказує на низький рівень технологічності (табл. 2).

Результати дослідження свідчать про наявність методологічних проблем, які виникають при оцінюванні впливу НДР на ефективність підприємств харчової промисловості в Україні, а саме [19]:

1. В компаніях з виробництва харчової продукції переважають невеликі (маржинальні) інновації (на відміну від «радикальних» нових технологічних розробок у високотехнологічних галузях). Окрім того, більшість харчових продуктів досить легко імітувати, що знижує мотивацію підприємств вкладати кошти в НДР, а новаторам важко отримати прибуток від вкладених інвестицій.

2. Показники, необхідні для оцінки інвестицій в НДР не завжди узгоджуються з даними джерел статистичної інформації. Існують проблеми, пов'язані з доступністю, короткими часовими рядами, зміною визначень НДР, розбивкою за типами НДР, розкриттям конфіденційної інформації про НДР на рівні підприємств.

3. Труднощі створює ефект запізнення, тобто проміжок часу між НДР і комерціалізацією результатів на рівні підприємств. Якщо цей інтервал часу перевищує три роки, то впроваджена розробка вже не вважається інноваційною.

4. Проблематичними залишаються: віднесення результатів діяльності підприємств до НДР; виявлення частки власних НДР, НДР інших підприємств або державних НДР. Більше того, в ході аналізу складно визначити тип або компонент НДР, який найбільше вплинув на ефективність підприємства (наприклад, технологічний процес проти продукту або організаційних інновацій).

Визначення технологічності галузей харчової промисловості України ускладнюється відсутністю релевантних статистичних даних щодо інвестицій в НДР. В зв'язку з цим, для вирішення проблеми визначення рівня технологічності окремих її галузей нами запропоновано використовувати коефіцієнт інтенсивності капітальних інвестицій, вкладених у нематеріальні активи, без яких неможлива модернізація технологічних процесів галузі. Водночас вважаємо, що цей показник краще характеризує інноваційну технологічність галузей, у той час як показник, розрахований за допомогою витрат на НДР, вказує на рівень їх наукоємності.

Таблиця 2

Розрахунок коефіцієнт інтенсивності інвестицій в НДР за видами економічної діяльності в Україні у 2019–2020 роках

Вид діяльності	Код за КВЕД–2010	Додана вартість, млн. грн		Інвестиції в НДР, млн. грн*		Коефіцієнт інтенсивності інвестицій в НДР, %		Зміна коефіцієнта інтенсивності інвестицій, 2020 до 2019, в.п.
		2019	2020	2019	2020	2019	2020	
Промисловість	B+C+D+E	1006773,7	948222,3	2918,9	3719,7	0,29	0,39	0,10
Переробна промисловість	C	492393,6	552549,5	2143,1	3120,9	0,23	0,56	0,34
виробництво харчових продуктів	10	113013,2	130497,3	23,9	320,3	0,02	0,25	0,23
виробництво машин і устаткування, не віднесених до інших угруповань	28	31922,9	33776,4	455,9	587,5	1,43	1,74	0,31
виробництво хімічних речовин і хімічної продукції	20	25146,5	25931,1	335,8	56,2	1,34	0,22	–1,12
виробництво основних фармацевтичних продуктів і фармацевтичних препаратів	21	15872,5	20019,6	583,9	785,6	3,68	3,92	0,25
виробництво комп'ютерів, електронної та оптичної продукції	26	9520,6	8681,7	115,7	129,1	1,22	1,49	0,27
виробництво електричного устаткування	27	13094,2	12158,9	302,0	333,7	2,31	2,74	0,44

Джерело: розроблено за даними Державної служби статистики України. <http://ukrstat.gov.ua/> (дата звернення 25.09.2024).

* Наведено дані таблиць "Витрати на інновації за видами економічної діяльності", "Додана вартість за витратами виробництва суб'єктів господарювання за видами економічної діяльності у 2013–2022 роках"

Розрахунки коефіцієнтів інтенсивності капітальних інвестицій у нематеріальні активи (програмне забезпечення, патенти, ліцензії, торговельні марки, концесії, аналогічні права) за підгалуззями харчової промисловості наведено у табл. 3. Коефіцієнти проранжовані у порядку спадання.

Таблиця 3

Розрахунок коефіцієнта інтенсивності інвестицій в інноваційну модернізацію підгалузей харчової промисловості України у 2021 році

Підгалузі харчової промисловості	Код за КВЕД–2010	Капітальні інвестиції у нематеріальні активи, тис. грн	Додана вартість, тис. грн	Коефіцієнт інтенсивності капітальних інвестицій в інноваційну модернізацію, %
1	2	3	4	5
Галузі з високим рівнем інтенсивності інвестицій в НДР				
Виробництво пива	11.05	100980	8544132,5	1,182
Виробництво фруктових і овочевих соків	10.32	23988,8	2778180,7	0,863

Продовження таблиці 3

1	2	3	4	5
Дистиляція, ректифікація та змішування спиртних напоїв	11.01	25881	3504651,5	0,738
Виробництво виноградних вин	11.02	7743	1077363,5	0,719
Виробництво прянощів і приправ	10.84	14823	2251400,3	0,658
Виробництво морозива	10.52	14278	2364404,2	0,604
Виробництво м'ясних продуктів	10.13	42940	8084432,7	0,531
Виробництво продуктів борошномельно-круп'яної промисловості	10.61	23128	5856689,9	0,395
Виробництво сухарів і сухого печива; виробництво борошняних кондитерських виробів, тортів і тістечок тривалого зберігання	10.72	8066	2339754,7	0,345
Галузі з середнім рівнем інтенсивності інвестицій в НДР				
Виробництво олії та тваринних жирів	10.41	138099	44231784,7	0,312
Виробництво маргарину і подібних харчових жирів	10.42	3212	1231293,8	0,261
Виробництво какао, шоколаду та цукрових кондитерських виробів	10.82	43710	17547676,6	0,249
Перероблення молока, виробництво масла та сиру	10.51	26677	10988880,6	0,243
Виробництво чаю та кави	10.83	7521	3252268,5	0,231
Виробництво інших харчових продуктів, не віднесені до інших угруповань	10.89	2905	1628446	0,178
Виробництво безалкогольних напоїв; виробництво мінеральних вод та інших вод, розлитих у пляшки	11.07	7823	5125010,2	0,153
Виробництво м'яса свійської птиці	10.12	11432	9979799,3	0,115
Перероблення та консервування фруктів і овочів	10.39	3160	3734276,8	0,085
Галузі з низьким рівнем інтенсивності інвестицій в НДР				
Виробництво хліба та хлібобулочних виробів; виробництво борошняних кондитерських виробів, тортів і тістечок нетривалого зберігання	10.71	7493	10302792,8	0,073
Виробництво цукру	10.81	2628	3912221,4	0,067
Перероблення та консервування риби, ракоподібних і молюсків	10.20	831	1288538,1	0,064
Виробництво м'яса	10.11	2566	4435076,6	0,058
Виробництво готової їжі і страв	10.85	944	1852257,6	0,051
Перероблення та консервування картоплі	10.31	125,4	252227,5	0,050
Виробництво крохмалів та крохмальних продуктів	10.62	480	2623318,1	0,018
Виробництво макаронних виробів та подібних борошняних виробів	10.73	71	478526,8	0,015
Виробництво дитячого харчування та дієтичних харчових продуктів	10.86	24	439476	0,005

Джерело: розроблено за даними Державної служби статистики України.
<http://ukrstat.gov.ua/>

Таблиця 4

Середній коефіцієнт інтенсивності капітальних інвестицій в інноваційну модернізацію, середній чистий прибуток та середня рентабельність по групах підгалузей у 2021 році

Групи підгалузей харчової промисловості за рівнем інтенсивності інвестицій в інноваційну модернізацію (технологічності)	Середній коефіцієнт інтенсивності капітальних інвестицій у нематеріальні активи ($\overline{K_{ii}}$), %	Середній чистий прибуток, тис. грн	Середня рентабельність від усієї діяльності, %
З високим рівнем	0,711	945878,1	1,23
З середнім рівнем	0,250	10385466,1	4,2
З низьким рівнем	0,059	248822,4	2,6

Джерело: авторська розробка з використанням даних Державної служби статистики України. <http://ukrstat.gov.ua/>

З'ясовано, що до групи з високим рівнем інтенсивності капітальних інвестицій в інноваційну модернізацію підгалузей харчової промисловості потрапили: виробництво пива; виробництво фруктових і овочевих соків; дистиляція, ректифікація та змішування спиртних напоїв; виробництво виноградних вин; виробництво прянощів і приправ; виробництво морозива; виробництво м'ясних продуктів; виробництво продуктів борошномельно-круп'яної промисловості; виробництво сухарів і сухого печива; виробництво борошняних кондитерських виробів, тортів і тістечок тривалого зберігання. Ці виробництва мали найвищий рівень технологічності в харчовій промисловості у 2021 році ($\overline{K_{ii}} = 0,711\%$).

До групи з середнім рівнем інтенсивності капітальних інвестицій в інноваційну модернізацію підгалузей харчової промисловості відносяться: виробництво олії та тваринних жирів; виробництво маргарину і подібних харчових жирів; виробництво какао, шоколаду та цукрових кондитерських виробів; перероблення молока, виробництво масла та сиру; виробництво чаю та кави; виробництво інших харчових продуктів, не віднесені до інших угруповань; виробництво безалкогольних напоїв; виробництво мінеральних вод та інших вод, розлитих у пляшки; виробництво м'яса свійської птиці; перероблення та консервування фруктів і овочів. Ці виробництва мали середній рівень технологічності в харчовій промисловості у 2021 році ($\overline{K_{ii}} = 0,250\%$).

До групи з низьким рівнем інтенсивності капітальних інвестицій в інноваційну модернізацію підгалузей харчової промисловості потрапили: виробництво хліба та хлібобулочних виробів; виробництво борошняних кондитерських виробів, тортів і тістечок нетривалого зберігання; виробництво цукру; перероблення та консервування риби, ракоподібних і молюсків; виробництво м'яса; виробництво готової їжі і страв; перероблення та консервування картоплі; виробництво крохмалів та крохмальних продуктів; виробництво макаронних виробів та подібних борошняних виробів; виробництво дитячого харчування та дієтичних харчових продуктів. Ці виробництва мали низький рівень технологічності в харчовій промисловості у 2021 році ($\overline{K_{ii}} = 0,059\%$).

Низька середня рентабельність у групі підгалузей з найвищим рівнем технологічності в 2021 році (1,23%; табл. 3) демонструє ефект запізнення, тобто проміжок часу, який має пройти від розробленням або придбанням інновацій до їхньої комерціалізації на підприємствах. Отже, підвищення рентабельності від інноваційної модернізації очікується в наступні 2–3 роки.

Висновки. Результати дослідження, отримані на основі розглянутого методичного підходу, свідчать про те, що незважаючи на низький рівень технологічності харчової промисловості (за методикою ОЄСР), окремі її підгалузі в Україні, у міру власних фінансових можливостей, є достатньо ефективними завдяки інтенсивності інвестицій в

НДР, забезпечують зростання прибутку й рентабельності виробництва, сприяють підвищенню конкурентоспроможності та забезпеченню сталого розвитку національної економіки.

Майбутній інноваційний розвиток харчової промисловості потребує створення стійких інновацій, у тому числі заснованих на нанотехнологіях та біотехнологіях. Результати багатьох розглянутих нами досліджень показують, що цінність, створювана інновацією, не обмежується її економічною віддачею, а здатна також впливати на довкілля та суспільство, сприяти екологічній стійкості та більшому захисту біорізноманіття. Тому стійкість інноваційного розвитку в перспективі залежатиме від колективних (інтегрованих) конкурентних стратегій як інструментів планування у створенні синергії між окремими ланками у виробничо-збутовому продовольчому ланцюгу.

Результати нашого дослідження, засновані на усереднених даних за підгалузями харчової промисловості, вказують на те, що різні типи інновацій є наслідком різних джерел знань та можливостей застосування цих знань підприємствами малого і великого бізнесу, де технологічні оновлення є надто важливими. Посилення глобалізації ринків продовольства, ринкова конкуренція за урізноманітнення продукції, підвищення вимог до безпечності харчових продуктів і застосування біотехнологій зробили інновації необхідністю, а не способом виживання підприємств.

Сучасна харчова промисловість, що базується на біотехнологіях, нанотехнологіях, інформаційних технологіях, виробництві функціональних харчових продуктів стає сферою зростання високих технологій як в окремих країнах, так і в усьому світі. Водночас спрямованість на сталий розвиток як імператив розвитку харчової промисловості, а також розвиток технологій з нульовими викидами, втратами, відходами, мають стати завданням майбутніх напрямів досліджень і розробок в цій галузі.

Бібліографія

1. TC_Ukraine_EconomicOverview_Aug23 (2024). https://unece.org/sites/default/files/2024-08/Ukraine%20economic%20overview_0.pdf.
2. Fertő I.; Molnar A.; Tóth J. Borderless ideas-open innovation in the Hungarian food chain. *Br. Food J.* 2016, 118, 1494–1515.
3. Triguero A.; Fernández S.; Sáez-Martinez F. J. Inbound open innovative strategies and eco-innovation in the Spanish food and beverage industry. *Sustain. Prod. Consum.* 2018, 15, 49–64.
4. Finco A.; Bentivoglio D.; Bucci G. Lessons of innovation in the agrifood sector: Drivers of innovativeness performances. *Econ. Agro-Aliment.* 2018, 2, 181–192.
5. Bucci G.; Bentivoglio D.; Finco A. Factors affecting ict adoption in agriculture: A case study in Italy. *Calitatea* 2019, 20, 122–129.
6. Stanco M., Nazzaro C., Lerro M., Marotta G. Sustainable Collective Innovation in the Agri-Food Value Chain: The Case of the “Aureo” Wheat Supply Chain. *Sustainability*. 2020. Vol. 12. p. 5642. <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/14/5642>.
7. Zilberman D.; Lu L.; Reardon T. Innovation-induced food supply chain design. *Food Policy*. 2019, 83, 289–297.
8. Minarelli F.; Raggi M.; Viaggi D. Innovation in European food SMEs: Determinants and links between types. *Bio-Based Appl. Econ.* 2015, 4, 33–53.
9. Caiazza, R.; Stanton, J. The effect of strategic partnership on innovation: An empirical analysis. *Trends Food Sci. Technol.* 2016, 54, 208–212.
10. Крисанов Д. Ф., Водянка Л. Д. Стратегії нарощування інноваційного потенціалу підприємствами харчової промисловості. *Економіка і прогнозування*. 2015. № 1. С. 89–104. https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/5077/1/strategiyi_naroshhuvannya.pdf.
11. Бердар М. М. Оцінка інноваційного розвитку підприємств харчової промисловості України. *Інвестиції: практика та досвід*. 2018. № 12. С. 20–26. http://www.investplan.com.ua/pdf/12_2018/6.pdf.
12. Гарбар В. А. Аналіз інноваційної активності підприємств харчової промисловості України. *Агросвіт*. 2019. № 20. С. 38–44. <http://www.agrosvit.info/?op=1&z=2977&i=5>.

13. Міненко М.А. Історичний шанс для України: реалії та перспективи національної харчової індустрії. *Економіка та держава* № 5/2022. С. 4–13. <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2022.5.4>. http://www.economy.in.ua/pdf/5_2022/3.pdf.

14. Шпикуляк О. Г., Грицаєнко М. І. Розвиток інноваційної діяльності в аграрній сфері: менеджмент та ефективність: Монографія. Херсон: ОЛДІ-ПЛЮС, 2016. 424 с. <http://repository.vsau.org/getfile.php/25575.pdf>.

15. OECD Taxonomy of Economic Activities Based on R&D Intensity: OECD Science, Technology and Industry Working Papers. 2016. № 4. 25 p. <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/5jlv73sqqp8r-en.pdf?expires=1727688043&id=id&accname=guest&checksum=57C0090B1C31012D056BA507659C7220>.

16. Коваленко О. В., Гарбар Ж. В. Інноваційний розвиток підприємств харчової промисловості. *Економіка, фінанси, менеджмент: актуальні питання науки і практики*. Вінницький національний аграрний університет. 2020. № 4. С. 34–52. <http://socrates.vsau.org/repository/card.php?id=27781>.

17. Appendix 2 – Country Overview. *Ukraine Review* (2020). https://unece.org/DAM/ANNEX_2_RUSSIAN_IPO_Country_Snapshots.pdf.

18. Research and development statistics at regional level (2024). Eurostat. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Research_and_innovation_statistics_at_regional_level&oldid=518354.

19. Коваленко О. В., Ященко Л. О. Ефективність інноваційної діяльності харчової промисловості в системі цілей сталого розвитку країни. *Економіка АПК*. 2021. № 5. С. 46–56. <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202105046>.

20. Harnessing Innovation Potential Can Promote Sustainable Development in Eastern Europe and the South Caucasus: UNECE Study (2020). <https://unece.org/ru/economic-cooperation-and-integration/press/ispolzovanie-innovacionnogo-potenciala-mozhet>.

21. Розпорядження Кабінету Міністрів України від 10 липня 2019 р. № 526-р «Про схвалення Стратегії розвитку сфери інноваційної діяльності на період до 2030 року».

22. Aguiler J. M. Perspective Seligman lecture 2005 food product engineering: Building the right structures. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2006. Vol. 86, pp. 1147–1155.

23. The 2020 EU Industrial R&D Investment Scoreboard, European Commission, JRC/DG R&I. 2020. <https://iri.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-12/EU%20RD%20Scoreboard%202020%20FINAL%20online.pdf>.

24. Menrad K. Innovations in the Food Industry in Germany. *Research Policy*. 2004. Vol. 33. № 6. pp. 845–878. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048733304000101>.

References

1. TC_Ukraine_EconomicOverview_Aug23 (2024). https://unece.org/sites/default/files/2024-08/Ukraine%20economic%20overview_0.pdf.

2. Fertő, I.; Molnar, A.; Tóth, J. (2016). Borderless ideas-open innovation in the Hungarian food chain. *Br. Food J.* No 118, 1494–1515.

3. Triguero, A.; Fernández, S.; Sáez-Martínez, F.J. (2018). Inbound open innovative strategies and eco-innovation in the Spanish food and beverage industry. *Sustain. Prod. Consum.* No 15, 49–64.

4. Finco, A.; Bentivoglio, D.; Bucci, G. (2018). Lessons of innovation in the agrifood sector: Drivers of innovativeness performances. *Econ. Agro-Aliment.* No 2, 181–192.

5. Bucci, G.; Bentivoglio, D.; Finco, A. (2019). Factors affecting ict adoption in agriculture: A case study in Italy. *Calitatea*. No 20, 122–129.

6. Stanco M., Nazzaro C., Lerro M., Marotta G. (2020). Sustainable Collective Innovation in the Agri-Food Value Chain: The Case of the “Aureo” Wheat Supply Chain. *Sustainability*. Vol. 12. p. 5642. <https://www.mdpi.com/2071-1050/12/14/5642>.

7. Zilberman, D.; Lu, L.; Reardon, T. (2019). Innovation-induced food supply chain design. *Food Policy*. № 83, 289–297.

8. Minarelli, F.; Raggi, M.; Viaggi, D. (2015). Innovation in European food SMEs: Determinants and links between types. *Bio-Based Appl. Econ.* № 4, 33–53.

9. Caiazza, R.; Stanton, J. The effect of strategic partnership on innovation: An empirical analysis. *Trends Food Sci. Technol.* 2016, 54, 208–212.

10. Krysanov, D. F., Vodianka, L. D. (2015). Stratehii naroshchuvannia innovatsiinoho potentsialu pidpriemstvamy kharchovoi promyslovosti. [Strategies for increasing the innovative potential of food industry enterprises]. *Ekonomika i prohnozuvannia* [Economics and forecasting]. № 1. P. 89–104. https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNANU/5077/1/strategiyi_naroshhuvannya.pdf. [in Ukrainian].
11. Berdar, M. M. (2018). Otsinka innovatsiinoho rozvytku pidpriemstv kharchovoi promyslovosti Ukrainy. [Evaluation of innovative development of food industry enterprises of Ukraine]. *Investytzii: praktyka ta dosvid* [Investments: practice and experience]. № 12. P. 20–26. http://www.investplan.com.ua/pdf/12_2018/6.pdf. [in Ukrainian].
12. Garbar, V. A. (2019). Analiz innovatsiinoi aktyvnosti pidpriemstv kharchovoi promyslovosti Ukrainy [Analysis of innovative activity of food industry enterprises of Ukraine]. *Agrosvit* [Agroworld]. № 20. P. 38–44. <http://www.agrosvit.info/?op=1&z=2977&i=5>. [in Ukrainian].
13. Minenko, M. A. (2022). Istorychnyi shans dlia Ukrainy: realii ta perspektyvy natsionalnoi kharchovoi industrii [A historic chance for Ukraine: realities and prospects of the national food industry]. *Ekonomika ta derzhava* [Economy and the State]. № 5. 4–13. <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2022.5.4>. http://www.economy.in.ua/pdf/5_2022/3.pdf. [in Ukrainian].
14. Shpykuliak, O. H., Hrytsaienko M. I. (2016). Rozvytok innovatsiinoi diialnosti v ahrarnii sferi: menedzhment ta efektyvnist: Monohrafiia [Development of innovative activity in the agricultural sector: management and efficiency: Monograph. Kherson: ALDI-PLUS, 2016. 424 p.]. Xerson: OLDI-PLYuS. 424 p. <http://repository.vsau.org/getfile.php/25575.pdf>. [in Ukrainian].
15. OECD Taxonomy of Economic Activities Based on R&D Intensity: OECD Science, Technology and Industry Working Papers (2016). № 4. 25 p. <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/5jlv73sqqp8r-en.pdf?expires=1727688043&id=id&accname=guest&checksum=57C0090B1C31012D056BA507659C7220>.
16. Kovalenko, O. V., Harbar, Zh. V. (2020). Innovatsiinyi rozvytok pidpriemstv kharchovoi promyslovosti. *Ekonomika, finansy, menedzhment: aktualni pytannia nauky i praktyky* [Economics, finance, management: topical issues of science and practice]. *Vynnytskyi natsionalnyi ahrarnyi universytet*. № 4. P. 34–52. <http://socrates.vsau.org/repository/card.php?id=27781>. [in Ukrainian].
17. Appendix 2 – Country Overview. Ukraine Review (2020). https://unece.org/DAM/ANNEX_2_RUSSIAN_IPO_Country_Snapshots.pdf.
18. Research and development statistics at regional level (2024). Eurostat. https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Research_and_innovation_statistics_at_regional_level&oldid=518354
19. Kovalenko, O. V., Yashhenko, L. O. (2021). Efektyvnist innovatsiinoi diialnosti kharchovoi promyslovosti v systemi tsilei staloho rozvytku krainy [Effectiveness of innovative activities of the food industry in the system of goals of sustainable development of the country]. *Ekonomika APK* [Economy of agro-industrial complex]. № 5. P. 46–56. <https://doi.org/10.32317/2221-1055.202105046>. [in Ukrainian].
20. Harnessing Innovation Potential Can Promote Sustainable Development in Eastern Europe and the South Caucasus: UNECE Study (2020). <https://unece.org/ru/economic-cooperation-and-integration/press/ispolzovanie-innovacionnogo-potenciala-mozhet>.
21. Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 10 lypnia (2019). № 526-r «Pro skhvalennia Stratehii rozvytku sfery innovatsiinoi diialnosti na period do 2030 roku» [Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated July 10, 2019 № 526-r "On the approval of the Strategy for the development of the sphere of innovative activity for the period until 2030"]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main>. [in Ukrainian].
22. Aguiler, J. M. (2006). Perspective Seligman lecture 2005 food product engineering: Building the right structures. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. Vol. 86, pp. 1147–1155.
23. The 2020 EU Industrial R&D Investment Scoreboard, European Commission, JRC/DG R&I. (2020). <https://iri.jrc.ec.europa.eu/sites/default/files/2020-12/EU%20RD%20Scoreboard%202020%20FINAL%20online.pdf>.
24. Menrad, K. (2004). Innovations in the Food Industry in Germany. *Research Policy*. 2004. Vol. 33. № 6. pp. 845–878. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048733304000101>.

**БЕНЧМАРКІНГ ПЕРЕДОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ ВИРОБНИЦТВА ПРОДУКЦІЇ
ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ***Лесных Ю. В., студент бакалавріату*<https://orcid.org/0009-0000-7045-1171>*науковий керівник Івасів В. В., д.т.н., с.н.с.,**доцент кафедри технології органічних продуктів,*<https://orcid.org/0000-0002-7639-0354>*Національний університет "Львівська політехніка", м. Львів, Україна*<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-30>

Предмет. Інноваційні технології в харчовій промисловості та їх роль у підвищенні ефективності й конкурентоспроможності підприємств. В сучасних умовах глобалізації та зростання вимог до якості харчових продуктів підприємства повинні активно впроваджувати передові технології, які сприяють оптимізації виробничих процесів, підвищенню рівня безпеки продукції та дотриманню екологічних стандартів. **Мета.** Полягає у дослідженні та оцінці сучасних виробничих технологій у харчовій промисловості за допомогою бенчмаркінгових методів для виявлення найбільш результативних практик, які сприяють покращенню якості продукції, оптимізації процесів виробництва, зниженню витрат та підвищенню екологічної ефективності. **Методи.** Включають аналіз та синтез, порівняльний метод, метод бенчмаркінгу, а також статистичний аналіз, що є важливими для обґрунтування рекомендацій та сприяє оптимізації процесів у харчовій промисловості. Кожен із цих критеріїв забезпечує комплексний підхід до оцінки технологій, що дозволяє визначити їхню придатність для конкретного підприємства та забезпечити оптимальне використання ресурсів. **Результати.** Дозволяють зробити висновок, що для досягнення високого рівня конкурентоспроможності підприємствам харчової промисловості необхідно активно інвестувати в інноваційні технології та використовувати бенчмаркінг як методологію аналізу й оптимізації бізнес-процесів. Застосування систем автоматизації, ресурсозберігаючих рішень та цифрових технологій не лише підвищує продуктивність і знижує витрати, а й дозволяє відповідати сучасним екологічним вимогам, що є важливим аспектом стійкого розвитку. **Сфера застосування результатів.** В майбутньому, завдяки бенчмаркінгу, підприємства можуть розробляти нові стратегічні орієнтири, що сприятиме покращенню бізнес-процесів і досягненню стійких конкурентних переваг у довгостроковій перспективі.

Ключові слова: бенчмаркінг, виробництво продуктів харчування, технології, харчова промисловість

**BENCHMARKING OF ADVANCED PRODUCTION TECHNOLOGIES
OF THE FOOD INDUSTRY***Yurii Lespukh, Undergraduate Student*<https://orcid.org/0009-0000-7045-1171>*Scientific Supervisor: Volodymyr Ivasiv, D-r of Sc., Engineering**Associate Professor of the Department of Organic Products Technology,*<https://orcid.org/0000-0002-7639-0354>*Lviv Polytechnic University, Lviv, Ukraine*

Subject. Innovative technologies in the food industry and their role in increasing the efficiency and competitiveness of enterprises. In today's conditions of globalization and growing requirements for the quality of food products, enterprises must actively implement advanced technologies that contribute to the optimization of production processes, increasing the level of product safety and compliance with environmental standards. **Purpose.** To research and evaluate modern production technologies in the food industry using benchmarking methods to identify the most effective practices that contribute to improving product quality, optimizing production processes, reducing costs, and increasing environmental efficiency. **Methods.** Used in the study include analysis and synthesis, comparative method, benchmarking method, as well as statistical analysis, which are important for the justification of recommendations and contribute to the optimization of processes in the food industry. Each of these criteria provides a comprehensive approach to evaluating technologies, which allows you to determine

*their suitability for a specific enterprise and ensure optimal use of resources. **Results.** Allow us to conclude that in order to achieve a high level of competitiveness, food industry enterprises need to actively invest in innovative technologies and use benchmarking as a methodology for analyzing and optimizing business processes. The use of automation systems, resource-saving solutions and digital technologies not only increases productivity and reduces costs, but also allows meeting modern environmental requirements, which is an important aspect of sustainable development. **Scope of results.** In the future, thanks to benchmarking, enterprises can develop new strategic guidelines, which will contribute to the improvement of business processes and the achievement of sustainable competitive advantages in the long term.*

Key words: benchmarking, food production, technologies, food industry

Постановка проблеми. У сучасних умовах глобалізації та посилення конкурентного тиску, підприємства харчової промисловості стикаються з необхідністю впровадження інноваційних технологій для підвищення продуктивності, зменшення витрат і покращення екологічних характеристик виробничих процесів. Бенчмаркінг передових технологій дозволяє ідентифікувати найкращі практики, які можуть бути застосовані для оптимізації виробничих процесів та забезпечення стійкого розвитку галузі.

Крім того, підвищення рівня обізнаності споживачів про якість та безпечність продуктів харчування стимулює виробників до впровадження новітніх технологій контролю якості та забезпечення відповідності продукції міжнародним стандартам. Оцінка і порівняння таких технологій на основі бенчмаркінгу дозволяє підприємствам адаптуватися до вимог ринку та підтримувати конкурентоспроможність, що є важливим в умовах динамічних змін на світовому ринку продуктів харчування.

Аналіз статті О. В. Шкуренко дозволяє висвітлити основні аспекти бенчмаркінгу як сучасного інструменту управління та підвищення конкурентоспроможності підприємства [1, с. 144–146]. Вивчення проблем застосування та перспектив розвитку бенчмаркінгу в Україні показує, що, незважаючи на визнану ефективність цього методу, існує низка бар'єрів, які обмежують його впровадження [2, с. 2]. Аналіз роботи Д. В. Деєва показує, що сучасні процеси автоматизації у харчовій промисловості є важливим напрямком підвищення ефективності виробництва. Автор акцентує увагу на ролі інтеграції автоматизованих систем у технологічні процеси, які забезпечують зниження витрат та підвищення продуктивності [4, с. 184–185]. Дослідження В. Цимбали висвітлює проблеми контролю якості продукції на харчових підприємствах, наголошуючи на необхідності удосконалення внутрішніх стандартів та інструментів моніторингу для забезпечення відповідності міжнародним нормам [5, с. 172–174]. Особливу увагу приділено впливу якості на конкурентоспроможність підприємств. Т. А. Слободян акцентує на значенні цифрових технологій у харчовій промисловості, зокрема їхньому впливі на покращення логістики, обліку ресурсів і відстеження якості продукції [6, с. 162–164]. Автор вказує на перспективи впровадження цифрових рішень як ключового елементу трансформації галузі. Hand A. розглядає практичний досвід компанії Nestlé у впровадженні технологій Індустрії 4.0, включаючи Інтернет речей (IoT) та цифрові інновації у виробничих процесах. Зазначено, що такі технології сприяють вдосконаленню операційної діяльності та підвищенню екологічності виробництва [8].

Незважаючи на наявність значної кількості досліджень, які охоплюють окремі аспекти інноваційних технологій та їхнього впливу на харчову промисловість, питання систематичного використання методів бенчмаркінгу для визначення найефективніших практик залишається недостатньо висвітленим. Це зумовлює необхідність комплексного аналізу передових технологій із використанням бенчмаркінгу для формування стратегій підвищення якості продукції, оптимізації процесів, зниження витрат і покращення екологічних показників.

Мета дослідження полягає у вивченні та аналізі передових технологій виробництва у харчовій промисловості з використанням методів бенчмаркінгу для визначення найефективніших практик, що сприяють підвищенню якості продукції, оптимізації

виробничих процесів, зниженню витрат і покращенню екологічних показників. Для досягнення поставленої мети слід виконати наступні завдання:

- розкрити сутність та види бенчмаркінгу;
- охарактеризувати основні тенденції розвитку технологій у харчовій промисловості та їх вплив на процеси виробництва;
- провести аналіз передових технологій у харчовій промисловості, зокрема в аспектах контролю якості, автоматизації процесів, енергоефективності та екологічної безпеки;
- визначити ключові показники ефективності, які доцільно використовувати для оцінки результатів впровадження інноваційних технологій у харчову промисловість;
- надати рекомендації щодо впровадження передових технологій, які сприятимуть підвищенню конкурентоспроможності підприємств харчової промисловості на глобальному ринку.

Матеріали та методи. У проведеному дослідженні використано комплекс методів, які забезпечили системний підхід до аналізу та оцінки впровадження інноваційних технологій у харчовій промисловості. Кожен із застосованих методів виконував конкретну роль, що дозволило отримати обґрунтовані результати. Метод аналізу та синтезу був використаний для вивчення наукової літератури, нормативно-правових актів, а також існуючих практик у галузі харчової промисловості. Аналіз дозволив деталізувати ключові аспекти впровадження інноваційних технологій, тоді як синтез сприяв узагальненню отриманих даних і формуванню цілісного уявлення про актуальні проблеми та перспективи. Порівняльний метод застосовувався для зіставлення ефективності різних інноваційних технологій, впроваджених на підприємствах харчової промисловості. Зокрема, цей метод дозволив оцінити переваги автоматизації, цифровізації, ресурсозберігаючих технологій та інших інновацій, порівнюючи показники їхньої ефективності, продуктивності та екологічності. Метод бенчмаркінгу виступив ключовим інструментом для аналізу практик лідерів галузі. Його застосування дало можливість дослідити найкращі зразки технологій та підходів, адаптованих до специфіки харчової промисловості, а також оцінити можливості їх впровадження в українських умовах. Завдяки цьому методу вдалося розробити рекомендації щодо оптимізації виробничих процесів та управління підприємствами. Статистичний аналіз забезпечив обґрунтування рекомендацій на основі кількісних даних. За його допомогою були опрацьовані показники продуктивності, рентабельності, екологічності, енергетичної ефективності, що використовувалися для оцінки результативності впроваджених технологій. Це дозволило отримати об'єктивні висновки щодо впливу інновацій на ключові показники діяльності підприємств.

Результати та обговорення. Використання інструментарію бенчмаркінгу на підприємстві в умовах, що швидко змінюються, дозволяє здійснити аналіз сильних та слабких сторін діяльності підприємства; на основі досвіду лідерів розробити стратегічні орієнтири для ліквідації відставання і виходу на провідні позиції; досить швидко вдосконалювати бізнес-процеси. Бенчмаркінг являє собою систематичну діяльність, спрямовану на вивчення та адаптацію найкращих практик компаній-лідерів, щоб поліпшити бізнес-процеси та досягти стратегічних цілей [1, с. 144–146].

Основною метою бенчмаркінгу є досягнення оптимізації управлінських процесів через запозичення та адаптацію найкращого досвіду інших підприємств, що призводить до підвищення ефективності й конкурентоспроможності. При цьому важливим є не просто сліпе копіювання, а адаптація під специфічні умови конкретної компанії. Головними етапами бенчмаркінгу є [1, с. 147]:

- планування – визначення цілей, вибір сфери для бенчмаркінгу, ідентифікація ресурсів та пріоритетів;

- збір даних – вибір компанії для порівняння, збирання інформації щодо процесів, продукції або послуг для подальшого аналізу;
- аналіз – оцінка рівня ефективності як власної компанії, так і обраних для порівняння;
- впровадження – розробка стратегій, спрямованих на усунення виявлених слабких місць, адаптація успішних практик для покращення власної діяльності;
- контроль і оцінювання – моніторинг реалізації заходів бенчмаркінгу та їхнього впливу на ключові показники діяльності.
- серед головних проблем, з якими стикаються підприємства у контексті бенчмаркінгу, виділяють наступні:
 - обмеженість ресурсів, що особливо відчутно для малих та середніх підприємств, які не завжди мають достатньо фінансів, щоб здійснювати глибокі дослідження та звертатися за допомогою до консалтингових компаній і брак ресурсів також призводить до нестачі кадрів, здатних ефективно застосовувати бенчмаркінг;
 - непрозорість ринку та брак достовірної інформації, тому що часто підприємства не хочуть розкривати фінансову звітність, зважаючи на конкуренцію, що створює труднощі при зборі необхідних даних для порівняння;
 - консервативний підхід та брак довіри до нових методів.

Перспективи розвитку бенчмаркінгу в Україні включають подолання вказаних проблем шляхом підтримки цього підходу державними інституціями та активного використання можливостей освітніх закладів і тренінгових центрів для поширення знань про бенчмаркінг. Важливим кроком стане підготовка кваліфікованих кадрів, здатних впроваджувати цей метод та адаптувати його до специфіки національного бізнесу.

Застосування бенчмаркінгу, як прогнозують експерти, дозволить українським підприємствам більш ефективно використовувати ресурси, адаптувати найкращі практики світових лідерів і підвищувати свою конкурентоспроможність на міжнародному ринку. Це сприятиме створенню постійного процесу вдосконалення бізнес-процесів та оптимізації управління, що є ключовим для успішного розвитку в умовах глобалізації [2, с. 1–2].

Існують процесний і результативний бенчмаркінг. Коли оцінюються результати, здійснюється порівняння показників, але справжня мета бенчмаркінгу полягає в аналізі процесів, виявленні прихованих аспектів, що впливають на результативність, і запозиченні ідей. Заходи бенчмаркінгу буває важко класифікувати через унікальність дій кожної компанії [3]. Однак загалом виділяють чотири основні типи бенчмаркінгу: внутрішній, конкурентний, функціональний та загальний (табл. 1).

Бенчмаркінг відіграє важливу роль у впровадженні інноваційних технологій у харчовій промисловості, забезпечуючи підвищення конкурентоспроможності та оптимізацію виробничих процесів. Сутність бенчмаркінгу полягає у порівняльному аналізі показників продуктивності, технологій та бізнес-процесів, що дозволяє підприємствам вивчати та адаптувати найкращі світові практики. Харчова промисловість характеризується високими вимогами до якості продукції, безпеки споживачів та екологічних стандартів, тому залучення інноваційних технологій є критично важливим для ефективного функціонування галузі.

Бенчмаркінг у харчовій промисловості зосереджується на вивченні інноваційних технологічних рішень, серед яких особливо виділяються інтелектуальні системи автоматизації. Сучасна автоматизація виходить далеко за межі простої механізації та включає впровадження штучного інтелекту, машинного навчання та IoT-технологій. Зокрема, йдеться про розумні системи контролю якості з використанням комп'ютерного зору для миттєвої діагностики продукції, роботизовані виробничі лінії з адаптивним управлінням та системи передиктивного обслуговування обладнання. Такі технологічні рішення дозволяють не лише підвищити ефективність виробничих процесів, а й забезпечити прецизійне управління ресурсами, що сприяє зменшенню витрат,

покращенню якості продуктів та мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище. Для оцінки результатів впровадження інноваційних технологій у харчову промисловість доцільно використовувати такі ключові показники ефективності:

- продуктивність виробництва – обсяг продукції, виробленої за одиницю часу, що дозволяє оцінити технологічну ефективність.
- собівартість продукції – зниження витрат на одиницю продукції внаслідок оптимізації процесів.
- якість продукції – відповідність продукції міжнародним стандартам, її харчова цінність, безпечність та інноваційність.
- енергетична ефективність – зменшення споживання енергії на одиницю продукції.
- екологічність виробництва – рівень зниження відходів і впливу на навколишнє середовище.
- рентабельність – співвідношення прибутків до витрат, що відображає економічну вигоду інновацій.
- рівень задоволення споживачів – зростання попиту на продукцію, підтверджене відгуками або ринковою часткою.

Таблиця 1

Види бенчмаркінгу

№	Вид	Опис
1	Внутрішній	У цьому випадку компанія порівнює показники всередині власної організації, наприклад, рівень продажів у різних магазинах однієї мережі. Дані тут легко доступні, оскільки вони є власними. Проте, такий підхід орієнтується на внутрішній успіх, не враховуючи найкращих досягнень у галузі. Внутрішній бенчмаркінг використовується як початковий етап для освоєння техніки.
2	Конкурентний	Якщо є можливість доступу до звітів або даних конкурентів, можна провести порівняння процесів у суміжних компаніях. Часто цей вид застосовують у сферах, як-от індустрія розваг, де компанії обмінюються інформацією про інциденти. Також можна аналізувати успішні компанії в суміжній галузі, що працюють в інших регіонах і не є прямими конкурентами.
3	Функціональний	Тут порівнюються бізнес-функції та процеси між різними компаніями та навіть секторами економіки. Особлива увага приділяється характеру процесів, таких як адміністрування, управління персоналом, обмін інформацією. Порівнюючи свої процеси з процесами з інших галузей, знаходять альтернативні підходи для розв'язання завдань.
4	Загальний	В цьому випадку досліджуються інноваційні рішення та методи, що використовуються в різних компаніях. Обираються компанії з відмінною репутацією для аналізу їх підходів, що дозволяє виявити цікаві методи, які можна адаптувати та впровадити у власній компанії.

Джерело: узагальнено автором за [1–3]

Крім того, бенчмаркінг сприяє розвитку екологічно відповідального виробництва шляхом впровадження технологій для зменшення відходів та раціонального використання сировини. Наприклад, порівняння ефективності різних методів обробки та пакування харчових продуктів дозволяє компаніям знайти оптимальні рішення, що відповідають сучасним екологічним стандартам і підвищують рівень сталого розвитку.

Сучасні технології у виробництві харчової продукції спрямовані на підвищення якості, безпеки та ефективності виробничих процесів, що дозволяє галузі відповідати зростаючим вимогам споживачів і екологічним стандартам. Однією з ключових тенденцій у харчовій промисловості є використання автоматизації, яка дозволяє оптимізувати всі етапи виробництва – від підготовки сировини до пакування готової продукції. Завдяки

роботизованим системам і автоматизованим лініям, підприємства можуть досягти високої точності у виконанні операцій та знизити вплив людського фактору на якість продукції.

На сучасному етапі розвитку суспільства автоматизація сприяє створенню безпечних та екологічно чистих харчових продуктів за умов впровадження автоматизованих систем управління, контрольних систем, роботизованих комплексів і комп'ютерно-інтегрованих виробництв. Системи автоматизації базуються на функціональних можливостях мікропроцесорних систем управління, які використовують принципи адаптації, самоорганізації, розподіленого управління та програмних комплексів. Сучасні автоматизовані системи управління в харчовій промисловості, а також програмні засоби мікропроцесорної техніки забезпечують ефективне управління технологічними процесами при організації автоматизованих робочих місць. Додаткове впровадження та використання програмно-технічних комплексів обчислювальної техніки для управління технологічними процесами у харчовій промисловості дозволяє підприємствам функціонувати в оптимальному режимі. Підхід до управління виробництвом на основі автоматизації сприяє створенню нової, інноваційної моделі підприємства з автоматизованим центром управління. У такій моделі кадровий потенціал встановлює чіткі цілі, синхронізуючи їх із виробничими об'єктами та ефективно використовуючи матеріальні ресурси підприємства [4, с. 184–185].

Іншим важливим напрямком є впровадження розумних систем контролю якості. Сучасні технології дозволяють використовувати сенсори та програмне забезпечення для моніторингу параметрів виробництва в режимі реального часу. Це забезпечує швидке виявлення відхилень і дозволяє своєчасно вносити корективи в процеси. Використання технологій на основі штучного інтелекту дозволяє не лише контролювати якість, але й передбачати потенційні проблеми, що підвищує загальну надійність виробництва.

Одним із ключових елементів системи управління якістю на етапах виробництва та реалізації промислової продукції є організація та здійснення технічного контролю якості. Головною метою технічного контролю на підприємстві є своєчасне отримання повної та достовірної інформації щодо якості продукції, стану технологічного обладнання та процесів, що дозволяє запобігти неполадкам і відхиленням, які можуть призвести до порушення вимог стандартів і технічних умов [5, с. 172]. Система HACCP та стандарти ISO формують комплексний методологічний підхід до забезпечення якості та безпеки продукції у харчовій промисловості. Принципи системи HADERR базуються на превентивному аналізі потенційних біологічних, хімічних та фізичних ризиків, що виникають на всіх етапах виробничого циклу – від надходження первинної сировини до моменту споживання кінцевого продукту. Методологія передбачає ґрунтовну ідентифікацію критичних контрольних точок, де вірогідність негативного впливу є найвищою, та розроблення відповідних механізмів моніторингу й корекції.

Стандарти ISO, зокрема ISO 9001 та ISO 22000, доповнюють та поглиблюють концептуальні положення HACCP, створюючи уніфіковану систему управління якістю. Вони формалізують вимоги до менеджменту якості, орієнтуючись на перманентне вдосконалення виробничих процесів та максимальне забезпечення потреб споживача. Особливої ваги набуває здатність цих систем не лише ідентифікувати потенційні проблеми, але й розробляти превентивні стратегії їх попередження.

Імплементація таких підходів зумовлює трансформацію корпоративної культури, вимагаючи від менеджменту та персоналу глибокого системного мислення, постійного навчання та усвідомлення відповідальності за кінцевий продукт. Наукова парадигма управління якістю еволюціонує від контрольної-репресивної до превентивно-партнерської моделі, де кожен учасник виробничого процесу є водночас і суб'єктом, і гарантом забезпечення високих стандартів.

Технології обробки продуктів, такі як високотемпературна обробка, ультразвукова обробка, пастеризація та ультрафіолетове опромінення, дозволяють зберігати корисні

властивості продуктів та подовжувати їхній термін зберігання. Зокрема, ультразвукова обробка є інноваційним методом, який дозволяє зменшити кількість додаткових консервантів, що є важливим у виробництві органічних продуктів.

Також, у харчовій промисловості активно впроваджуються ресурсозберігаючі технології, які спрямовані на зниження енергоспоживання та мінімізацію відходів. Виробництво все частіше використовує переробку побічних продуктів для створення нових товарів, а також інноваційні пакувальні матеріали, які є біорозкладними та можуть повторно використовуватися, що значно зменшує негативний вплив на довкілля.

Впровадження цифрових технологій, зокрема Інтернету речей (IoT), дозволяє створювати інтегровані системи, які забезпечують повну прозорість виробничих процесів. IoT-технології сприяють оптимізації ланцюгів постачання, моніторингу продуктивності обладнання та забезпечують простежуваність походження сировини, що є важливим для підвищення безпеки харчової продукції.

Завдяки цифровим технологіям харчова промисловість вступає в нову еру підвищення ефективності та безпеки продуктів. Від систем MES до інтеграції IoT і Big Data, ці інновації не лише оптимізують виробничі процеси, а й забезпечують прозорість у ланцюгу постачань. Поліпшення управління процесами та контролю якості сприяють забезпеченню безпеки продукції та задоволеності споживачів, тоді як впровадження нових технологій у всі етапи виробництва підвищує продуктивність та ефективність [6, с. 162–164].

Методологія бенчмаркінгу є потужним інструментом для аналізу передових технологій у різних галузях, зокрема в харчовій промисловості. Вона передбачає систематичний процес вивчення, оцінки та порівняння власних показників і практик з найкращими зразками, які вже застосовуються в інших організаціях або секторах. Основною метою цього підходу є ідентифікація можливостей для вдосконалення та впровадження інноваційних технологій. Методологія бенчмаркінгу дозволяє підприємствам не лише виявити можливості для впровадження інновацій, а й оцінити їхню доцільність і потенційний вплив на продуктивність. Застосування цього підходу в харчовій промисловості, зокрема, сприятиме підвищенню якості продукції, оптимізації витрат та забезпеченню конкурентоспроможності на ринку.

Оцінка технологій та процесів у промисловості є критично важливим етапом для забезпечення їх конкурентоспроможності та відповідності сучасним вимогам. Серед основних критеріїв, які використовуються для оцінки, виділяються продуктивність, екологічність і ефективність.

Продуктивність визначає обсяги виробництва, які досягаються за одиницю часу з використанням заданих ресурсів. Вона оцінюється через співвідношення між випуском продукції та витратами на ресурси, такі як сировина, енергія та трудові ресурси. Висока продуктивність свідчить про оптимізацію технологічних процесів і дозволяє підприємствам знижувати собівартість продукції, підвищуючи таким чином свою конкурентоспроможність. Аналіз продуктивності також включає дослідження технологічних інновацій, які сприяють збільшенню обсягів виробництва без значного підвищення витрат.

Екологічність технологій та процесів відображає їх вплив на навколишнє середовище. Цей критерій включає оцінку викидів забруднюючих речовин, споживання природних ресурсів, а також утворення відходів. Важливим аспектом екологічності є дотримання стандартів і норм, встановлених екологічними регуляторами. Інноваційні технології, що сприяють зменшенню негативного впливу на довкілля, такі як переробка відходів, використання відновлювальних джерел енергії та зменшення викидів, набувають все більшого значення в сучасному виробництві. Оцінка екологічності технологій також включає аналіз їхнього впливу на здоров'я споживачів та працівників.

Ефективність технологій і процесів визначає ступінь досягнення поставлених цілей за використання певних ресурсів. Це поняття охоплює не лише економічні аспекти, а й соціальні та організаційні. Висока ефективність передбачає оптимальне використання ресурсів для досягнення максимальних результатів. Вона оцінюється через різноманітні показники, такі як рентабельність, рівень задоволеності споживачів, якість продукції та здатність реагувати на зміни в ринкових умовах. Оцінка ефективності також включає в себе порівняння з аналогічними технологіями або процесами, що використовуються в інших підприємствах.

Критерії продуктивності, екологічності та ефективності є невід'ємними складовими оцінки технологій та процесів у промисловості. Їх комплексне використання дозволяє забезпечити всебічний аналіз, який сприяє прийняттю обґрунтованих управлінських рішень, спрямованих на підвищення конкурентоспроможності підприємств та їх здатності до сталого розвитку в умовах сучасного ринку.

Застосування передових технологій в харчовій промисловості демонструє значний потенціал для підвищення продуктивності, екологічності та ефективності виробництва. Anheuser-Busch InBev, Nestlé та Mowi використовують інноваційні рішення, спрямовані на автоматизацію, моніторинг та оптимізацію виробничих процесів, що дозволяє їм досягати стабільного розвитку та підвищувати конкурентоспроможність. Що свідчить про важливість цифровізації та впровадження замкнених циклів у сучасній харчовій промисловості, які сприяють досягненню стійкого розвитку галузі.

Компанія Anheuser-Busch InBev, одна з найбільших світових пивоварних корпорацій, активно впроваджує передові технології для підвищення екологічності та ефективності своїх процесів. Одним із ключових напрямів є використання технологій автоматизованого контролю за процесами ферментації та виробництва, що дозволяє суттєво знизити витрати на енергоресурси і воду. Інноваційна система контролю за обсягами використаної води забезпечує зменшення витрат води на виробництво одного літра пива, що дозволяє компанії досягати високих показників продуктивності при мінімальному негативному впливі на навколишнє середовище [7].

Також, Anheuser-Busch InBev використовує технології переробки побічних продуктів виробництва, таких як зернові відходи, які застосовуються для виготовлення кормів для тварин. Це є прикладом замкнутого циклу виробництва, що сприяє зниженню екологічного впливу та підвищенню ефективності ресурсів.

Nestlé, відомий виробник продуктів харчування, впроваджує передові технології автоматизації та цифровізації своїх виробничих процесів. Одним з найбільш помітних прикладів є використання Інтернету речей для моніторингу та управління виробничими процесами в режимі реального часу. Технології IoT дозволяють Nestlé не лише контролювати якість сировини, а й оптимізувати використання енергоресурсів та зменшувати кількість відходів на всіх етапах виробництва [8].

Крім того, компанія застосовує сучасні методи контролю безпеки продуктів, такі як ультразвукове сканування та тепловізійну обробку для виявлення сторонніх часток у продуктах та моніторингу температурних режимів. Це дозволяє значно підвищити безпеку продукції, що є важливим для споживачів м'ясо-молочних виробів. Використання даних технологій не лише знижує ризики, а й підвищує загальну ефективність виробничих процесів.

Mowi, один із провідних виробників лосося у світі, використовує передові технології для забезпечення ефективного та екологічно чистого виробництва риби. Компанія активно застосовує технології аквапоніки, яка дозволяє поєднувати рибні ферми з виробництвом рослинної продукції. Вода з рибних басейнів, насичена органічними речовинами, використовується для вирощування рослин, які в свою чергу фільтрують воду, що дозволяє зменшити витрати на очищення [9].

Крім того, Mowi активно впроваджує автоматизовані системи моніторингу та контролю якості води, зокрема IoT-сенсори, що дозволяють відслідковувати рівень кисню, температури та інших параметрів у режимі реального часу. Завдяки цьому забезпечуються ідеальні умови для вирощування риби, підвищуючи її якість та знижуючи ризик виникнення хвороб, а також оптимізує використання ресурсів, що сприяє екологічності виробництва.

Для забезпечення стійкого розвитку підприємствам харчової промисловості варто звернути особливу увагу на впровадження інноваційних технологій, які сприятимуть підвищенню продуктивності, покращенню якості продукції та зниженню екологічного впливу. В табл.2 наведено ключові рекомендації для підприємств галузі.

Таблиця 2

Рекомендації для підприємств харчової промисловості

№	Рекомендації	Опис
1.	Автоматизація виробничих процесів	Використання автоматизованих систем управління та інтеграція Інтернету речей дозволяють підвищити точність та ефективність контролю за технологічними процесами, мінімізувати помилки, пов'язані з людським фактором, і знижувати витрати. Рекомендується впроваджувати автоматизацію на всіх етапах виробництва, від підготовки сировини до пакування готової продукції.
2.	Використання ресурсозберігаючих технологій	Важливим аспектом для підприємств харчової промисловості є зменшення споживання енергоресурсів та зниження кількості відходів. Запровадження технологій замкнутого циклу, таких як переробка органічних відходів на біогаз чи добрива, сприятиме підвищенню екологічності виробництва. Рекомендується впроваджувати системи рециркуляції води та енергоефективне обладнання.
3.	Системи моніторингу та контролю якості	Сучасні системи моніторингу, засновані на використанні сенсорів та аналітичного програмного забезпечення, дозволяють відстежувати ключові параметри виробничих процесів у режимі реального часу, що забезпечує своєчасне виявлення відхилень, підвищує безпеку продуктів та дозволяє швидко реагувати на зміни. Підприємствам рекомендується впроваджувати такі системи для забезпечення стабільності якості продукції.
4.	Дотримання принципів сталого розвитку	Екологічність виробництва є важливою вимогою сучасного ринку, і підприємствам харчової промисловості необхідно дотримуватися принципів сталого розвитку: використання екологічно чистих технологій, зниження впливу на довкілля та адаптацію до вимог екологічних стандартів. Рекомендується також розглянути можливість використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних панелей чи вітрових турбін.
5.	Інвестиції у навчання та розвиток персоналу	Для ефективного використання новітніх технологій підприємствам необхідно забезпечити високий рівень кваліфікації працівників. Рекомендується впроваджувати програми підвищення кваліфікації, зокрема в галузі цифрових технологій, автоматизації та ресурсозбереження, щоб працівники могли максимально ефективно використовувати впроваджені інновації.
6.	Цифровізація та інтеграція в глобальні ланцюги постачання	Використання сучасних інформаційних систем для управління ланцюгами постачання, таких як блокчейн та аналітика великих даних, сприяє підвищенню прозорості, зниженню витрат та забезпеченню повної простежуваності продукції. Підприємствам рекомендується інтегрувати ці системи для оптимізації логістики та забезпечення стійкості у відносинах з партнерами та постачальниками.

Джерело: узагальнено автором

Підприємствам харчової промисловості важливо не лише впроваджувати передові технології, а й розробляти комплексні стратегії сталого розвитку, що дозволить досягти високої ефективності, відповідати вимогам ринку та забезпечити свою конкурентоспроможність у довгостроковій перспективі.

Висновки. У процесі проведеного дослідження було визначено ключові аспекти впровадження інноваційних технологій у харчовій промисловості та методології їх аналізу за допомогою бенчмаркінгу. Встановлено, що передові технології, зокрема автоматизація, цифровізація, використання Інтернету речей та систем управління виробничими процесами, мають вирішальне значення для підвищення продуктивності, екологічності та ефективності підприємств харчової галузі.

Результати аналізу підприємств демонструють, що впровадження цих інновацій сприяє не лише оптимізації виробничих процесів, а й забезпеченню високого рівня безпеки та якості продукції, що є критично важливим в умовах зростаючої конкуренції та підвищених вимог споживачів. Використання методології бенчмаркінгу для аналізу передових технологій дозволяє підприємствам визначити найкращі практики, адаптувати їх до своїх умов та досягати стійких конкурентних переваг.

Значну увагу приділено екологічним аспектам, оскільки сучасна харчова промисловість повинна відповідати суворим екологічним стандартам. Впровадження ресурсозберігаючих технологій, замкненого циклу виробництва та відновлюваних джерел енергії дозволяє зменшити негативний вплив на довкілля та підвищити ефективність використання ресурсів.

Таким чином, результати цього дослідження свідчать про важливість комплексного підходу до інноваційного розвитку підприємств харчової промисловості. Впровадження передових технологій і використання бенчмаркінгу як інструменту для їхнього аналізу є ключовими факторами, які сприяють стійкому розвитку галузі, підвищенню її конкурентоспроможності та здатності до адаптації в умовах сучасних ринкових викликів.

Бібліографія

1. Шкуренко О. В. Особливості використання інструментарію бенчмаркінгу на підприємстві. Економіка і організація управління. 2021. № 41. С. 143–151. <https://doi.org/10.31558/2307-2318.2021.1.14>
2. Іваненко А. О. Бенчмаркінг як інструмент підвищення конкурентоспроможності українських підприємств: проблеми застосування та перспективи розвитку. Освіта і наука. 2021. № 1. С. 1–3. <https://e-journals.udu.edu.ua/index.php/on/article/view/293>.
3. Визначення бенчмаркінгу та його основні види. Блог студії WEBAKULA: <https://webakula.ua/uk/blog/benchmarking-viznachennya-ta-osnovni-vidi> (дата звернення: 04.10.2024).
4. Дєєв Д. В. Сучасні процеси автоматизації харчових виробництв. The XXVII International Scientific and Practical Conference «Scientific research: a paradigm of innovative development of society». European Conference. Лісабон, 2024. С. 184–185. <https://eu-conf.com/en/events/scientific-research-a-paradigm-of-innovative-development-of-society/>.
5. Цимбала В. Проблеми забезпечення контролю якості продукції на виробництві. Актуальні проблеми вітчизняної економіки, підприємництва та управління на сучасному етапі (частина 1): мат. доп. IV Міжнар. наук.-практ. конф. студ. та молодих вчен. м. Тернопіль, 7 лист. 2019 р. Тернопіль : ТНЕУ, 2019. С. 172–174. <http://dSPACE.tneu.edu.ua/handle/316497/35902>.
6. Слободян Т. А. Роль цифрових технологій у харчовій промисловості. Збірник тез II Всеукраїнської науково-практичної конференції «Моделювання соціально-економічного розвитку в системі забезпечення продовольчої безпеки». МНАУ. Миколаїв, 2024. С. 162–164. https://www.mnau.edu.ua/files/nauk_prof_konf/zbirnyk-tez-09-05-24.pdf.
7. AB InBev taps into the power of beer and partnerships to grow economies, advance the UN Sustainable Development Goals. AB InBev. 2023. <https://www.ab-inbev.com/news-media/news-stories/ab-inbev-taps-into-the-power-of-beer-and-partnerships-to-grow-economies-advance-the-un-sustainable-development-goals> (дата звернення: 06.10.2024).

8. Hand A. Nestlé Samples a Selection of IIoT/Industry 4.0. Automation World. 2018. <https://www.automationworld.com/products/networks/blog/13318703/nestle-samples-a-selection-of-iiot-industry-40> (дата звернення: 06.10.2024).

9. Integrated Value Chain. Mowi Company 2024. <https://mowi.com/about-us/our-strategy/> (дата звернення: 06.10.2024).

References

1. Shkurenko, O. V. (2021). Osoblyvosti vykorystannia instrumentariiu benchmarkinhu na pidpriemstvi [Features of the Use of Benchmarking Tools at the Enterprise]. *Ekonomika i orhanizatsiia upravlinnia* [Economics and Organization of Management], 41, 143–151. <https://doi.org/10.31558/2307-2318.2021.1.14>. [in Ukrainian].

2. Ivanenko, A. O. (2021). Benchmarking yak instrument pidvyshchennia konkurento-spromozhnosti ukrainskykh pidpriemstv: problemy zastosuvannia ta perspektyvy rozvytku [Benchmarking as a Tool for Increasing the Competitiveness of Ukrainian Enterprises: Problems of Application and Development Prospects]. *Osvita i nauka* [Education and Science], 1, 1–3. <https://e-journals.udu.edu.ua/index.php/on/article/view/293> [in Ukrainian].

3. Vyznachennia benchmarkinhu ta yoho osnovni vydy [Definition of Benchmarking and Its Main Types]. Blog studii WEBAKULA [WEBAKULA Studio Blog]. <https://webakula.ua/uk/blog/benchmarking-vyznachennya-ta-osnovni-vidi> (accessed: 04.10.2024). [in Ukrainian].

4. Deiev, D. V. (2024). Suchasni protsesy avtomatyzatsii kharchovykh vyrobnytstv [Modern Processes of Automation in Food Production]. The XXVII International Scientific and Practical Conference «Naukovi doslidzhennia: paradyhma innovatsiinoho rozvytku suspilstva» [Scientific Research: A Paradigm of Innovative Development of Society], 184–185. Lisbon, Portugal. <https://eu-conf.com/en/events/scientific-research-a-paradigm-of-innovative-development-of-society/> [in Ukrainian].

5. Tsymbala, V. (2019). Problemy zabezpechennia kontroliu yakosti produktsii na vyrobnytstvi [Problems of Quality Control Assurance in Production]. Aktualni problemy vitchyznianoï ekonomiky, pidpriemnytstva ta upravlinnia na suchasnomu etapi (chastyna 1): mat. dop. IV Mizhnar. nauk.-prakt. konf. stud. ta molodykh vchenykh [Actual Problems of the National Economy, Entrepreneurship, and Management at the Present Stage (Part 1): Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference of Students and Young Scientists. Ternopil, Ukraine, November 7, 2019]. Ternopil: TNEU. 172–174. <http://dspace.tneu.edu.ua/handle/316497/35902> [in Ukrainian].

6. Slobodian, T. A. (2024). Rol tsyfrovyykh tekhnolohii u kharchovii promyslovosti [The Role of Digital Technologies in the Food Industry]. Zbirnyk tez II Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii «Modeliuvannia sotsialno-ekonomichnoho rozvytku v systemi zabezpechennia prodovolchoi bezpeky» [Proceedings of the II All-Ukrainian Scientific and Practical Conference «Modeling of Socio-Economic Development in the System of Food Security Assurance»], Mykolaiv, Ukraine. 162–164. https://www.mnau.edu.ua/files/nauk_prof_konf/zbirnyk-tez-09-05-24.pdf [in Ukrainian].

7. AB InBev. (2023). AB InBev taps into the power of beer and partnerships to grow economies, advance the UN Sustainable Development Goals. <https://www.ab-inbev.com/news-media/news-stories/ab-inbev-taps-into-the-power-of-beer-and-partnerships-to-grow-economies-advance-the-un-sustainable-development-goals>.

8. Hand, A. (2018). Nestlé Samples a Selection of IIoT/Industry 4.0. Automation World. <https://www.automationworld.com/products/networks/blog/13318703/nestle-samples-a-selection-of-iiot-industry-40>.

9. Mowi Company. (2024). Integrated Value Chain. Mowi Company <https://mowi.com/about-us/our-strategy/>.

**ЕФЕКТИВНІСТЬ ПРОГРАМ І ЗАХОДІВ ПІДТРИМКИ ВИРОБНИКІВ М'ЯСА
ТА М'ЯСНИХ ПРОДУКТІВ В УКРАЇНІ**

*Лисенко Г. П., н. с. відділу економічних досліджень,
<https://orcid.org/0000-0002-2006-4111>
Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна*

<https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-31>

Предмет. Ефективність програм і заходів підтримки виробників м'яса та м'ясних продуктів в Україні. **Мета.** Оцінити ефективність програм і заходів підтримки виробників м'яса та м'ясних продуктів в Україні. **Методи.** У дослідженні використано загальнонаукові та спеціальні методи: діалектичний, системного узагальнення, економіко-статистичний – для обробки й аналізу статистичних даних; табличний – для візуалізації та узагальнення результатів дослідження; абстрактно-логічний – для формулювання висновків. **Результати.** У статті проаналізовано програми і заходи підтримки виробників м'яса та м'ясних продуктів в Україні за останнє десятиліття. Оцінено фактичне виконання запланованих заходів національного проекту «Відроджене скотарство» та результати досягнення цільових індикаторів проекту. З'ясовано, що державна підтримка аграрного сектору в Україні характеризується високим рівнем бюрократизації процедур, складністю доступу до державної підтримки, невчасним та недостатнім обсягом фінансування. Виявлено відсутність послідовності та стабільності застосовуваної державної підтримки, що стало основною перешкодою для досягнення покращень в галузі. Наразі через обмеженість бюджетних коштів і зміну пріоритетів фінансування в умовах активної війни, обсяги державної підтримки тваринництва критично скоротились, що разом із посиленням негативних тенденцій в галузі гостро ставить питання забезпечення продовольчої безпеки в Україні. **Сфера застосування результатів.** Результати дослідження мають науково-практичний характер і можуть бути використані науковцями у подальших дослідженнях. Вони можуть слугувати джерелом довідкової інформації й використовуватися у роботі економістами, фахівцями органів влади, науковими працівниками, викладачами, аспірантами і студентами вищих навчальних закладів.

Ключові слова: державна підтримка тваринництва, ефективність державної підтримки, національний проект «Відроджене скотарство», м'ясо та м'ясні продукти, тваринництво.

**EFFECTIVENESS OF PROGRAMS AND MEASURES TO SUPPORT MEAT
AND MEAT PRODUCTS MANUFACTURERS IN UKRAINE**

*Hanna Lysenko, Researcher of the Department of Economic Research,
<https://orcid.org/0000-0002-2006-4111>
Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine*

Subject. Effectiveness of programs and measures to support producers of meat and meat products in Ukraine. **Purpose.** To evaluate the effectiveness of programs and measures to support producers of meat and meat products in Ukraine. **Methods.** The study used general scientific and special methods: dialectical, systemic generalization, economic-statistical – for processing and analyzing statistical data; tabular – for visualization and generalization of research results; abstract and logical – for formulating conclusions. **Results.** The article analyzes programs and measures to support producers of meat and meat products in Ukraine over the past decade. The study assessed the actual implementation of the planned activities of the national project "Revived Cattle Breeding" and the results of achieving the project's target indicators. It was found that State support of the agrarian sector in Ukraine is characterized by a high level of bureaucratization of procedures, complexity of access to State support, untimely and insufficient funding. The study revealed the lack of consistency and stability of the applied state support, which became the main obstacle to achieving improvements in the industry. Now, due to the limited budget funds and the change in the priorities of financing in the conditions of active war, the volume of state support for animal husbandry has critically decreased, which, together with the strengthening of negative trends in the industry, sharply raises the issue of ensuring food security in Ukraine. **Scope of results.** Research results have a scientific and practical nature and can be used by scientists in further

studies. The results can serve as a source of reference information and be used in the work of economists, government specialists, researchers, teachers, graduate students and students of higher educational institutions.

Key words: *state support for animal husbandry, effectiveness of state support, the national project "Revived cattle breeding", meat and meat products, animal husbandry*

Постановка проблеми. За останні 10 років в Україні виробництво м'яса скоротилось на 6%, при чому, виробництво яловичини зменшилось на 38%, а свинини – на 10%. У 2023 році 59% усього виробленого м'яса в Україні складало м'ясо птиці, 28% – свинина, 11% – яловичина. Хоча ще десятиліття тому частка яловичини була більшою і сягала 17%, а м'ясо птиці тоді не перевищувало 46%. Критичного рівня досягло скорочення поголів'я ВРХ – 52% та свинини – 36%. Споживання м'яса в розрахунку на одного українця не перевищує 53 кг в рік, що менше раціональної норми на 34%. Попри реалізовані державою численні заходи підтримки галузь продовжує стрімко скорочуватись, що гостро ставить питання продовольчої безпеки і потребу в дослідженні ефективності їх застосування.

Питання розробки та аналізу державної підтримки виробників м'яса та м'ясних продуктів раніше досліджували у своїх працях Сичевський М. П., Юзефович А. Е., Коваленко О. В. [1], Лаврук В. В., Покотильська Н. В. [2], Онегіна В. М., Кравченко О. М., Білецький О. С. [3], Тулуш Л. Д., Радченко О. Д. [4] та ін. Попри цінний доробок цих вчених, проблема залишається вкрай актуальною і потребує подальших досліджень.

Мета. Оцінити ефективність програм і заходів підтримки виробників м'яса та м'ясних продуктів в Україні.

Матеріали та методи. У дослідженні використано загальнонаукові та спеціальні методи: діалектичний, системного узагальнення, економіко-статистичний – для обробки й аналізу статистичних даних; табличний – для візуалізації та узагальнення результатів дослідження; абстрактно-логічний – для формулювання висновків.

Результати та обговорення. Наразі порядок державної підтримки аграріїв та тваринництва визначається щорічно в законах України «Про Державний бюджет України» та низкою підзаконних нормативних актів, що робить її непослідовною та нестабільною. Вона формується, часто, в результаті лобіювання інтересів зацікавлених груп у політичному процесі при формуванні та затвердженні державного бюджету. Наразі через обмеженість бюджетних коштів і зміну пріоритетів фінансування в умовах активної війни, виробники м'яса та м'ясних продуктів отримують ще менше уваги від держави ніж зазвичай.

Формування державної політики та застосування конкретних заходів підтримки аграрного сектору пройшло довгий шлях. В перші роки після проголошення незалежності, економічна ситуація в Україні швидко і непередбачувано змінювалася, що в умовах становлення державності не сприяло застосуванню системного підходу до вирішення проблем забезпечення продовольчої безпеки та підтримки аграрного сектору. Лише починаючи з 1995 року, коли Кабінет Міністрів України став складати Програми діяльності, вирішення цих питань набуло більш системного, комплексного, цілеспрямованого характеру [1]. Проте, єдиної програми чи стратегії розвитку саме аграрного сектору, що ґрунтовно намагалася б вирішити критичні проблеми в галузі та забезпечити її розвиток не було.

Першою спробою комплексно та системно підійти до проблем тваринництва та підтримки виробників м'яса та м'ясних продуктів став Національний проект «Відроджене скотарство», який було розроблено відповідно до Указу Президента України № 504/2011 «Про Національний план дій на 2011 рік щодо впровадження Програми економічних реформ на 2010–2014 роки «Заможне суспільство, конкурентоспроможна економіка, ефективна держава». Проект визначав основні пріоритети розвитку галузі скотарства, заходи та механізми з їх реалізації для стимулювання виробництва молока та яловичини в

обсягах, що задовольняли б потребу населення в продуктах харчування на рівні фізіологічних норм споживання та формування експортного потенціалу.

Бажаних результатів передбачалось досягти вдосконаленням існуючих форм і способів державної підтримки розвитку галузі та підвищення її інвестиційної привабливості з метою концентрації державних ресурсів та коштів на пріоритетних напрямках розвитку галузі, формування ефективної цінової, фінансово-кредитної та бюджетної політики. Ці заходи вважалися найбільш ефективними з точки зору забезпечення безбиткового виробництва продукції скотарства за різних форм господарювання та розвитку великотоварного спеціалізованого виробництва.

На реалізацію проекту в період 2011–2015 рр. передбачалося витратити 16,7 млрд грн бюджетних коштів, зокрема на часткове відшкодування суб'єктам господарювання вартості будівництва та реконструкції тваринницьких ферм і комплексів та підприємств з виробництва комбікормів – 4157 млн. грн., селекцію в тваринництві та птахівництві на підприємствах агропромислового комплексу – 635,2 млн. грн., державну підтримку галузі тваринництва – 5000 млн. грн., бюджетну тваринницьку дотацію та державну підтримку виробництва продукції рослинництва – 1490 млн. грн., здійснення фінансової підтримки підприємств агропромислового комплексу через механізм здешевлення кредитів – 2933 млн. грн., державні інтервенції через Аграрний фонд – 2500 млн. грн (табл. 1) [5].

Таблиця 1

**Планові обсяги витрат бюджетних коштів на реалізацію проекту
на 2011–2015 рр., млн. грн.**

Напрями бюджетної підтримки	Всього	у т.ч. по роках				
		2011	2012	2013	2014	2015
Державна підтримка галузі тваринництва (із Спецфонду)	5000	1000	1000	1000	1000	1000
Часткове відшкодування суб'єктам господарювання вартості будівництва та реконструкції тваринницьких ферм і комплексів та підприємств з виробництва комбікормів	4157	500	500	750	1000	1407
Селекція в тваринництві та птахівництві на підприємствах агропромислового комплексу	635,2	75,2	90	120	170	180
Бюджетна тваринницька дотація та державна підтримка виробництва продукції рослинництва	1490	100	200	320	420	460
Здійснення фінансової підтримки підприємств агропромислового комплексу через механізм здешевлення кредитів	2933	500	540	583	630	680
Державні інвестиції через Аграрний фонд	2500	500	500	500	500	500
Всього	16715,2	2675,2	2830	3273	3720	4227

Джерело: [5]

Фактично, відповідно до законів України «Про Державний бюджет України» за 2011–2015 рр., із запланованих напрямів бюджетної підтримки щорічно фінансувалася лише державна підтримка галузі тваринництва (табл. 2). Загалом за цим напрямом за 2011–2015 рр. було виділено 4550 млн грн бюджетних коштів, що на 9% менше від запланованого обсягу. Причому, якщо у 2011 році на державну підтримку галузі тваринництва надійшло 2030 млн грн, що більше від запланованого обсягу на цей рік у 2 рази, то у 2012 році ця сума скоротилася до 732 млн грн, у 2013 р. вона складала

650 млн грн, у 2014 р. – 888 млн грн, у 2015 р. – 250 млн грн, хоча проект передбачав стабільне щорічне фінансування в 1 млрд грн.

Таблиця 2

**Фактичні обсяги витрат бюджетних коштів на реалізацію проекту
на 2011–2015 рр., млн. грн.**

Напрями бюджетної підтримки	2011	2012	2013	2014	2015
Державна підтримка галузі тваринництва	2030	732	650	888	250
<i>Фінансова підтримка заходів в агропромисловому комплексі, з них:</i>	-	827	97	5	5
Часткове відшкодування суб'єктам господарювання вартості будівництва та реконструкції тваринницьких ферм і комплексів та підприємств з виробництва комбікормів	500	152	*	*	*
Селекція в тваринництві та птахівництві на підприємствах агропромислового комплексу	75,2	35,9	*	*	*
Бюджетна тваринницька дотація та державна підтримка виробництва продукції рослинництва	100	66,3	*	*	*
Здійснення фінансової підтримки суб'єктів господарювання агропромислового комплексу через механізм здешевлення кредитів та компенсації лізингових платежів	531,4	418	*	*	*

Джерело: сформовано автором на основі [6-11]

Примітка: * дані відсутні

Решта напрямів державної підтримки фінансувались значно гірше. У 2011 році часткове відшкодування суб'єктам господарювання вартості будівництва та реконструкції тваринницьких ферм і комплексів та підприємств з виробництва комбікормів, селекція в тваринництві та птахівництві на підприємствах агропромислового комплексу, бюджетна тваринницька дотація та державна підтримка виробництва продукції рослинництва, здійснення фінансової підтримки суб'єктів господарювання агропромислового комплексу через механізм здешевлення кредитів та компенсації лізингових платежів були профінансовані відповідно до планових обсягів. Проте, починаючи з 2012 року їх об'єднали в напрям «Фінансова підтримка заходів в агропромисловому комплексі», що окрім заходів Національного проекту «Відроджене скотарство» включав, зокрема, підтримку сільськогосподарських обслуговуючих кооперативів (5 млн грн), здійснення заходів з охорони і захисту, раціонального використання лісів, наданих у постійне користування агропромисловим підприємствам (17 млн грн), державну підтримку сільськогосподарської дорадчої служби (2 млн грн), створення і забезпечення резервного запасу сортового та гібридного насіння (20 млн грн), надання фінансової підтримки для створення оптових ринків сільськогосподарської продукції (48 млн грн), часткове відшкодування вартості будівництва нових тепличних комплексів (31,4 млн грн), виплату субсидії на гектар посівів (25,9 млн грн), державну підтримку сільськогосподарських товаровиробників шляхом здешевлення страхових платежів (премій) (0,4 млн грн) [8]. Із 827 млн грн, виділених на напрям «Фінансова підтримка заходів в агропромисловому комплексі», заходи Національного проекту «Відроджене скотарство» у 2012 році склали 81,3%. Якщо, відповідно до плану проекту, у 2012 порівняно з 2011 роком фінансування по його напрямках підтримки мало зростати, то в реальності воно скоротилось (табл. 2). А починаючи з 2013 року, навіть фінансування напряму «Фінансова підтримка заходів в агропромисловому комплексі» загалом почало скорочуватись. У 2013 році воно вже складало 97 млн грн, а у 2014 та 2015 роках лише 5 млн грн.

В результаті відсутності стабільності державної політики щодо підтримки виробників тваринницької продукції та недотримання плану, цільові індикатори

Національного проекту «Відроджене скотарство» не були досягнуті, більше того, ситуація в галузі ускладнилась (табл. 3).

Таблиця 3

Оцінка досягнення основних цільових індикаторів проекту

Показник	Цільова зміна показника до 2015 р.	Фактичний рівень станом на 2015 рік	Відхилення від початкового рівня, %	Відхилення від цільового рівня, %
М'ЯСО				
Поголів'я ВРХ, <i>млн голів</i>	↑ з 4,49 до 5,59	3,75	-16,5	-32,9
у т.ч.: сільгосппідприємства	↑ з 1,52 до 2,54	1,27	-16,4	-50,0
господарства населення	↓ з 3,97 до 3,05	2,48	-37,5	-18,7
Середньодобовий приріст ВРХ в сільгосппідприємствах, <i>г</i>	↑ з 500 до 700	536	+7,2	-23,4
Виробництво (реалізація на забій) ВРХ в живій масі, <i>млн т</i>	↑ до 1,02	0,65	-	-36,3
Виробництво (реалізація на забій) ВРХ в забійній масі, <i>млн т</i>	↑ до 0,6	0,38	-	-36,7
МОЛОКО				
Поголів'я корів, <i>млн голів</i>	↑ з 2,63 до 2,72	2,17	-17,5	-20,2
у т.ч.: сільгосппідприємства	↑ з 0,59 до 0,79	0,51	-13,6	-35,4
господарства населення	↓ з 2,04 до 1,93	1,67	-18,1	-13,5
Надій молока на корову, <i>кг</i>	↑ з 4080 до 5660	4644	+13,8	-18,0
Виробництво молока, <i>млн т</i>	↑ з 11,2 до 15,4	10,6	-5,4	-31,2

Джерело: розраховано автором на основі [5] та [12]

У результаті реалізації проекту з 2011 до 2015 рр. поголів'я ВРХ орієнтовно мало зрости з 4,49 до 5,59 млн голів, фактично у 2015 році воно скоротилось до 3,75 млн голів, що менше від фактичного показника 2011 року на 16,5%, та цільового на 32,9%. Для збільшення ефективності виробництва планувалося збільшити частку поголів'я, що утримується у сільськогосподарських підприємствах та скоротити у господарствах населення, що також не вдалося. Поголів'я скоротилось у всіх виробників швидкими темпами. Середньодобовий приріст ВРХ в сільськогосподарських підприємствах не досяг очікуваного рівня. Виробництво м'яса ВРХ у 2015 році було меншим від цільового індикатора на 36%.

Цільові індикатори Національного проекту «Відроджене скотарство» щодо молока були так само не втішними. Поголів'я корів скоротилось у 2015 порівняно із 2011 роком на 17,5%, що було менше цільового рівня на 20,2%. Надій молока на корову в 2015 році був більшим від 2011 року на 13,8%, проте меншим від цільового індикатора на 18%. Так само скоротилось виробництво молока на 31,2%.

Однією з вагомих причин неспроможності закінчити впровадження Національного проекту «Відроджене скотарство» стало погіршення економічної та політичної ситуації в країні, зміна в пріоритетах розподілу бюджетних коштів внаслідок анексії Автономної Республіки Крим та бойових дій в Донецькій та Луганській областях, що почалися в 2014 році.

З 2009 до 2016 року в Україні діяла державна програма підтримки сільського господарства, що включала в себе запровадження спецрежиму справляння податку на додану вартість (ПДВ). В результаті наших попередніх досліджень щодо ефективності реалізації цієї державної програми на основі співставлення зміни обсягу поголів'я

основних видів сільськогосподарських тварин та розмірів державної підтримки в розрахунку на одну голову відповідного поголів'я тварин за 2008–2014 рр. [13, с. 105–106], було визначено що поголів'я ВРХ невинно скорочувалося до 2012 року в своєму темпі, не залежно від зміни обсягу надання державної допомоги поки у 2012 та 2013 роках фінансування не зросло в 2,6 рази до 47,2 та 56,1 грн в розрахунку на 1 голову. Проте, вже у 2014 році, коли державна підтримка скоротилася вдвічі до 27 грн/гол., поголів'я ВРХ знову почало зменшуватися.

Галузь свинарства в розглянутий період була більш чутливою до державної підтримки. При збільшенні чи зменшенні фінансування в розрахунку на 1 голову, відповідно скорочувалося або зростало поголів'я свиней.

В досліджуваний період, незалежно від обсягу коштів, що надходили у галузь, поголів'я птиці щороку зростало, адже обсяг державної підтримки птиці значно перевищував обсяги підтримки інших тваринницьких галузей. Зокрема, у 2014 році загальне фінансування державної підтримки птиці становило 988,3 млн грн, що було більше від обсягу підтримки ВРХ у 8 разів, а свиней – у 3 рази. І це при тому що іще у 2008 році таке перевищення становило всього 1,5 рази для ВРХ та 1,1 рази для свинини.

Така ситуація пояснюється тим, що галузь птахівництва від самого початку не була в такому критичному становищі як галузі вирощування ВРХ та свиней. Завдяки державній підтримці вона досягла безбитковості вже в 2013–2014 рр., а спецрежим ПДВ продовжив надаватися на тих самих засадах. Якщо обсяг прямих державних дотацій в галузь птахівництва щорічно скорочувався, складаючи у 2014 році всього 22,6% від прямих дотацій на ВРХ та 20% від дотацій на свинарство, то надходження коштів за рахунок податку на додану вартість надзвичайно зросло. Із 988,2 млн грн отриманих галуззю птахівництва у 2014 році 99,7% надійшло саме за рахунок податку на додану вартість [13, с. 105–106].

З 1 січня 2017 року замість спецрежиму ПДВ, який відмінили на вимогу МВФ, було введено прямі державні дотації. Механізм їх розподілу наступний: на вартість реалізованої продукції сільськогосподарського підприємства, відображену у податковій звітності, пропорційно сплаченим сумах ПДВ, розподіляють фіксовану суму дотацій, яка щомісяця виділяється з бюджету. В реєстр отримувачів бюджетної дотації вносяться підприємства, в яких 75% вартості всіх товарів, реалізованих ними протягом звітного періоду по КВЕД відводиться на продукцію тваринництва [14]. Крім того, у 2017 році діяло обмеження суми виплат дотацій для птахівництва – підприємства цієї галузі могли отримати не більше 50% від загальної суми дотацій.

Відповідно до Постанови КМУ № 884 [15], у 2017 році бюджетні кошти виділені для підтримки тваринництва спрямовувались для виплати часткового відшкодування: вартості закуплених для подальшого відтворення телиць, нетелей, корів вітчизняного походження та племінних телиць, нетелей, корів молочного, молочно-м'ясного і м'ясного напряму продуктивності, племінних свинок та кнурців, племінних вівцематок, баранів, ярок; відсоткової ставки за банківськими кредитами, залученими у національній валюті, для покриття витрат, пов'язаних із закупівлею молодняку сільськогосподарських тварин, обладнання для тваринницьких ферм і комплексів; вартості будівництва та реконструкції тваринницьких ферм і комплексів, доїльних залів та утворених на кооперативних засадах м'ясопереробних підприємств [15].

У 2017 році на державну підтримку агросектору було виділено 5,5 млрд грн. Із них 4 млрд грн спрямували на дотації виробникам тваринницької продукції, 550 млн грн було відведено на програму 20-відсоткової компенсації вартості української сільгосптехніки, 300 млн грн спрямували на компенсацію кредитних ставок і т. д.

Переважну більшість бюджетних коштів у 2017 році отримали великі аграрні холдинги, а не дрібні та середні підприємства. Зокрема, із 4 млрд грн. загальної суми дотацій аграрним виробникам найбільше бюджетних коштів отримали агрохолдинги

"Миронівський хлібопродукт" та "Укрлендфармінг". Все через те, що сама система розподілу була вигідна передусім великим підприємствам, оскільки більшість дрібних та середніх сільгоспвиробників навіть не могли подавати заявку на отримання дотацій, адже паралельно займались рослинництвом і вартість їх рослинницької продукції перевищувала чверть від їхнього товарообороту. Малі та середні підприємства просто не спроможні займатись виключно тваринництвом, адже це вкрай нерентабельно [13].

Бюджетні кошти на підтримку тваринництва у 2018 році розподілялися відповідно до Постанови КМУ № 107 [16] за такими напрямками: часткова компенсація відсоткової ставки за банківськими кредитами, залученими для покриття витрат, пов'язаних із провадженням діяльності у галузях: вівчарство, козівництво, бджільництво, звірівництво, кролівництво, шовківництво та аквакультура; часткова компенсація вартості будівництва та реконструкції тваринницьких ферм і комплексів, доїльних залів, підприємств з переробки сільськогосподарської продукції в частині витрат, профінансованих без урахування податку на додану вартість за рахунок банківських кредитів; спеціальна бюджетна дотація за утримання корів молочного, молочно-м'ясного та м'ясного напрямку продуктивності; спеціальна бюджетна дотація за вирощування молодняка великої рогатої худоби, який народився в господарствах фізичних осіб; часткове відшкодування вартості закуплених для подальшого відтворення племінних тварин, а саме телиць, нетелей, корів молочного, молочно-м'ясного та м'ясного напрямку продуктивності, свинок та кнурців, вівцематок, баранів, ярок і сперми бугаїв та ембріонів великої рогатої худоби, які мають племінну (генетичну) цінність; часткове відшкодування вартості будівництва та реконструкції тваринницьких ферм і комплексів, доїльних залів, підприємств з переробки сільськогосподарської продукції [16].

Загалом на підтримку тваринництва у 2018 році було спрямовано 2,4 млрд грн, з них: спеціальна бюджетна дотація на утримання корів склала 512 млн грн, спеціальна бюджетна дотація на вирощування молодняка ВРХ – 320 млн. грн, часткове відшкодування вартості закуплених для подальшого відтворення племінних тварин – 214 млн. грн, найбільше ж було спрямовано коштів на часткове відшкодування вартості будівництва та реконструкції тваринницьких ферм і комплексів, доїльних залів, підприємств з переробки сільськогосподарської продукції – 1,3 млрд грн тощо.

У 2019 році з державного бюджету на виконання програми «Державна підтримка тваринництва, зберігання та переробки сільськогосподарської продукції, аквакультури (рибництва)» було виділено 2,9 млрд грн. У 2019 році на спеціальну бюджетну дотацію за утримання корів молочного, молочно-м'ясного та м'ясного напрямку продуктивності спрямували 532 млн. грн, на спеціальну бюджетну дотацію за вирощування молодняка великої рогатої худоби – 785 млн грн, на часткове відшкодування вартості закуплених для подальшого відтворення племінних тварин – 150 млн грн, а на часткове відшкодування вартості будівництва та реконструкції тваринницьких ферм і комплексів, доїльних залів, підприємств з переробки сільськогосподарської продукції – 526 млн грн і т. д. [17].

У 2020 році уряд спрямував на підтримку аграріям 4 млрд грн. Зокрема, у 2020 році бюджетні кошти спрямовувались на державну підтримку розвитку тваринництва та переробку сільськогосподарської продукції, фінансову підтримку розвитку фермерських господарств, часткову компенсацію вартості сільськогосподарської техніки та обладнання вітчизняного виробництва, фінансову підтримку заходів в агропромисловому комплексі шляхом здешевлення кредитів, фінансову підтримку розвитку садівництва, виноградарства та хмелярства, надання сімейним фермерським господарствам додаткової фінансової підтримки через механізм доплати на користь застрахованих осіб – членів/голови сімейного фермерського господарства єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування.

У наступні 2 роки на програму підтримки аграріїв – «Фінансова підтримка сільгосптоваровиробників» витрачали 4,6 та 4,4 млрд грн, що складало 96 та 70% від усіх

видатків розвитку Апарату Міністерства аграрної політики та продовольства України (табл. 4). У 2023 році витрати на державну підтримку аграрного сектору різко скоротились, що пов'язано з воєнними діями, що розпочались у 2022 році. Державні витрати на фінансування програми «Фінансова підтримка сільгосптоваровиробників» скоротилась в 22 рази до 201 млн грн у 2023 році. У 2024 році ця сума лишилась майже незмінною – склала 205 млн грн. Видатки розвитку Апарату Міністерства аграрної політики та продовольства України сягнули 1 та 1,1 млрд грн, що в 6 разів менше обсягу 2022 року.

Таблиця 4

Видатки державного бюджету на розвиток аграрного сектору, млн грн

Видатки державного бюджету	2020 рік*	2021 рік	2022 рік	2023 рік	2024 рік
Фінансова підтримка сільгосптоваровиробників	4000	4665	4400	201	205
Обсяг усіх видатків розвитку Апарату Міністерства аграрної політики та продовольства України	6937	4836	6317	1064	1136

Джерело: сформовано автором на основі [18–22]

Примітка: *Міністерство розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України

Виробники м'яса та м'ясних продуктів наразі вчаться працювати не лише в умовах війни, а й за обмеженості ресурсів, зокрема і державної підтримки. Попри складні умови у 2023 порівняно з 2022 роком виробництво м'яса усіх видів зросло на 1,5%, за рахунок збільшення виробництва м'яса птиці на 5,2%. Виробництво ж яловичини та свинини скоротилось на 4,3 та 3%, відповідно. Продовжувало зменшуватись поголів'я ВРХ та свиней, на 1 січня 2024 порівняно з 2022 роком кількість ВРХ різко скоротилась на 18,4%, свиней – на 9,2%. Активні війна, що охопила значну територію України, посилює кризові явища в тваринництві України.

Висновки. Отже, за останнє десятиліття було здійснено багато заходів підтримки, що не спромоглись ґрунтовно вплинути на покращення критичного становища виробників яловичини та свинини, проте допомогли розвинути галузі з виробництва м'яса свійської птиці. Недосконалий механізм розподілу державної підтримки спричинив надмірне нагромадження державної підтримки в галузі птахівництва і низький її рівень у інших тваринницьких галузях. Через відсутність стабільності та послідовності державної політики щодо підтримки виробників тваринницької продукції та недотримання планів та програм розвитку галузі, виробництво м'яса ВРХ та свиней залишається нерентабельним і щорічно скорочується, що в умовах війни гостро ставить питання продовольчої безпеки. Державна підтримка аграрного сектору в Україні характеризується високим рівнем бюрократизації процедур, складністю доступу до державної підтримки, специфічністю підтримуваних напрямів, невчасним та недостатнім обсягом фінансування. Часто, через значну затримку виконання програм, вагома частина коштів державного бюджету залишалась невикористаною в кінці року і просто поверталась до держбюджету. Та навіть попри це, обсяги планових закладених коштів не відповідали потребі. Галузь потребує єдиної, системної та послідовної стратегії державної підтримки. Необхідно удосконалити механізм розподілу бюджетних коштів, спростити доступ до дотацій для виробників м'яса та м'ясних продуктів, що потребують її. За можливості, необхідно якнайшвидше відновити державне фінансування програм підтримки тваринництва, адже повномасштабне вторгнення російської федерації на територію України іще більше погіршило критичну ситуацію.

Бібліографія

1. Сичевський М. П., Юзефович А. Е., Коваленко О. В. Стратегія зростання «Харчова промисловість України – 2030» (передумови і перспективи). К.: Аграр. наука, 2019. 32 с.

2. Лаврук В. В., Покотильська Н. В. Стратегія державної фінансової підтримки тваринництва. Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Економіка і управління. 2019. 30 (69). № 5. С. 114–120. <https://doi.org/10.32838/2523-4803/69-5-48>.
3. Онегіна В. М., Кравченко О. М., Білецький О. С. Державна аграрна політика та підтримка тваринництва в Україні. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. 2018. 191. С. 77–91. <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/14469>.
4. Тулуш Л. Д., Радченко О. Д. Державна фінансова підтримка галузі тваринництва в умовах реформування спецрежимів оподаткування. Збірник наукових праць Подільського державного аграрно-технічного університету. 2016. 24 (3). С. 219–230. <http://188.190.43.194:7980/jsrui/handle/123456789/1041>.
5. Національний проект «Відроджене скотарство». К.: ДІА, 2011. 44 с.
6. Про Державний бюджет України на 2011 рік: Закон України. 2857-VI. Редакція від 29.12.2011. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2857-17>.
7. Про Державний бюджет України на 2012 рік: Закон України. 4282-VI. Редакція від 08.12.2012. <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/4282-17#Text>.
8. Про внесення змін до Розподілу видатків, передбачених Законом України "Про Державний бюджет України на 2012 рік" за КПКВК 2801180 "Фінансова підтримка заходів в агропромисловому комплексі": Наказ Міністерства аграрної політики та продовольства України. 772. <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0772730-12#Text>. Станом на 14.12.2012.
9. Про Державний бюджет України на 2013 рік: Закон України. 5515-VI. Редакція від 29.12.2013. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5515-17#Text>.
10. Про Державний бюджет України на 2014 рік: Закон України. 719-VII Редакція від 15.04.2016. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/719-18#Text>.
11. Про Державний бюджет України на 2015 рік: Закон України. 80-VIII Редакція від 29.12.2015. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/80-19#Text>.
12. Державна служба статистики України. <https://www.ukrstat.gov.ua>.
13. Коваленко О. В., Бокій О. В., Яценко Л. О., Лисенко Г. П. Розвиток харчової індустрії України в умовах надзвичайних викликів: вектори, потенціал та перспективи. Колективна монографія; за заг. ред. О. В. Коваленко. Інститут продовольчих ресурсів НААН. Київ: Деоніс плюс, 2024. 328 с. https://drive.google.com/file/d/1nGN6IfErBuikQhoJbH-_pDu9v_hObrhu/view.
14. Про схвалення Стратегії розвитку аграрного сектору економіки на період до 2020 року: Розпорядження Кабінету Міністрів України. 806-р. Станом на 17.10.2013. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/806-2013-р#Text>.
15. Про затвердження Порядку використання коштів, передбачених у державному бюджеті для підтримки галузі тваринництва, та визнання такими, що втратили чинність, деяких постанов Кабінету Міністрів України: Постанова Кабінету Міністрів України. 884. Станом на 28.10.2015. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/884-2015-п#Text>.
16. Про затвердження Порядку використання коштів, передбачених у державному бюджеті для підтримки тваринництва, зберігання та переробки сільськогосподарської продукції, аквакультури (рибництва): Постанова Кабінету Міністрів України. 107. Станом на 07.02.2018. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/107-2018-п#Text>.
17. Про розподіл коштів, передбачених у державному бюджеті за програмою 1201140 «Державна підтримка тваринництва, зберігання та переробки сільськогосподарської продукції, аквакультури (рибництва)» на 2019 рік: Розпорядження Кабінету Міністрів України. 196-р. Редакція від 15.11.2019. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/196-2019-р#Text>.
18. Про Державний бюджет України на 2020 рік: Закон України. 294-IX. Редакція від 10.12.2020. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/294-20#Text>.
19. Про Державний бюджет України на 2021 рік: Закон України. 1082-IX. Редакція від 09.12.2021. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1082-20#Text>.
20. Про Державний бюджет України на 2022 рік: Закон України. 1928-IX Редакція від 31.03.2023. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1928-20#Text>.
21. Про Державний бюджет України на 2023 рік: Закон України. 2710-IX Редакція від 22.10.2023. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2710-20#Text>.
22. Про Державний бюджет України на 2024 рік: Закон України. 3460-IX Редакція від 21.09.2024. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3460-20#Text>.

References

1. Sychevskiy, M. P., Yuzefovych, A. E., Kovalenko, O. V. (2019). Stratehiia zrostantia «Kharchova promyslovist Ukrainy – 2030» (peredumovy i perspektyvy). [Development Strategy «Food Industry of Ukraine – 2030» (prerequisites and prospects)]. Kyiv: Agrarian science, 32 p. [in Ukrainian].
2. Lavruk, V. V., Pokotylska, N. V. (2019). Stratehiia derzhavnoi finansovoi pidtrymky tvarynnytstva. [State financial support strategy for animal husbandry]. Vcheni zapysky TNU imeni V. I. Vernadskoho. Seriya: Ekonomika i upravlinnia. [Scientific notes of Taurida National V.I. Vernadsky University Series: Economy and Management]. 30 (69). № 5. P. 114–120. <https://doi.org/10.32838/2523-4803/69-5-48> [in Ukrainian].
3. Onehina, V. M., Kravchenko, O. M., Biletskyi, O. S. (2018). Derzhavna aharna polityka ta pidtrymka tvarynnytstva v Ukraini. [State agricultural policy and support for livestock farming in Ukraine]. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho tekhnichnoho universytetu silskoho hospodarstva imeni Petra Vasylenka. [Bulletin of the Petro Vasylenko Kharkiv National Technical University of Agriculture]. 191. P. 77–91. <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/14469>. [in Ukrainian].
4. Tulush, L. D., Radchenko, O. D. (2016). Derzhavna finansova pidtrymka haluzi tvarynnytstva v umovakh reformuvannia spetsrezhymiv opodatkovannia. [State financial support in the livestock sector in conditions of special tax regimes reforms]. Zbirnyk naukovykh prats Podilskoho derzhavnoho aharno-tekhnichnoho universytetu. [Collection of scientific works of Podolsk State Agrarian and Technical University]. 24 (3). P. 219–230. <http://188.190.43.194:7980/jspui/handle/123456789/1041> [in Ukrainian].
5. Natsionalnyi proekt «Vidrodzhene skotarstvo». [National project «Revived cattle breeding»]. Kyiv: DIA, 2011. 44 p. [in Ukrainian].
6. Pro Derzhavnyi biudzheth Ukrainy na 2011 rik: Zakon Ukrainy. [On the State Budget of Ukraine for 2011: Law of Ukraine]. 2857-VI. As of 29.12.2011. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2857-17>.
7. Pro Derzhavnyi biudzheth Ukrainy na 2012 rik: Zakon Ukrainy. [On the State Budget of Ukraine for 2012: Law of Ukraine]. 4282-VI. As of 08.12.2012. <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/4282-17#Text>.
8. Pro vnesennia zmin do Rozpodilu vydatkiv, peredbachenykh Zakonom Ukrainy «Pro Derzhavnyi biudzheth Ukrainy na 2012 rik» za KPKVK 2801180 «Finansova pidtrymka zahodiv v ahropromyslovomu kompleksi»: Nakaz Ministerstva aharnoï polityky ta prodovolstva Ukrainy [On amendments to the Distribution of Expenditures Provided for by the Law of Ukraine «On the State Budget of Ukraine for 2012» under the CPKVK 2801180 «Financial Support for Activities in the Agro-Industrial Complex»: Order of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine]. 772. As of 14.12.2012. <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0772730-12#Text>.
9. Pro Derzhavnyi biudzheth Ukrainy na 2013 rik: Zakon Ukrainy. [On the State Budget of Ukraine for 2013: Law of Ukraine]. 5515-VI. As of 29.12.2013. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5515-17#Text>.
10. Pro Derzhavnyi biudzheth Ukrainy na 2014 rik: Zakon Ukrainy. [On the State Budget of Ukraine for 2014: Law of Ukraine]. 719-VII. As of 15.04.2016. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/719-18#Text>.
11. Pro Derzhavnyi biudzheth Ukrainy na 2015 rik: Zakon Ukrainy. [On the State Budget of Ukraine for 2015: Law of Ukraine]. 80-VIII. As of 29.12.2015. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/80-19#Text>.
12. Derzhavna sluzhba statystyky Ukrainy. [State Statistics Service of Ukraine]. <https://www.ukrstat.gov.ua>.
13. Kovalenko O. V. (Ed), Bokii O. V., Yashchenko L. O., Lysenko H. P. (2024). Rozvytok kharchovoi industrii Ukrainy v umovakh nadzvychainykh vyklykiv: vektory, potentsial ta perspektyvy. Kolektyvna monohrafiia. [Development of the Food Industry of Ukraine in Conditions of Extraordinary Challenges: Vectors, Potential and Prospects. Collective Monograph]. Kyiv: Deionis plus, 328 p. [in Ukrainian].
14. Pro skhvalennia Stratehii rozvytku aharnoho sektoru ekonomiky na period do 2020 roku: Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy. [On approval of the Strategy for the Development of the Agrarian Sector of the Economy for the Period Until 2020: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine]. 806-p. As of 17.10.2013. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/806-2013-p#Text>.
15. Pro zatverdzhennia Poriadku vykorystannia koshtiv, peredbachenykh u derzhavnomu biudzheti dlia pidtrymky haluzi tvarynnytstva, ta vyznannia takymy, shcho vtratyly chynnist, deiakykh postanov Kabinetu Ministriv Ukrainy: Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy. [On approval of the Procedure for the use of funds provided for in the state budget to support the livestock industry and the recognition of

certain resolutions of the Cabinet of Ministers of Ukraine as invalid: Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine]. 884. As of 28.10.2015. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/884-2015-п#Text>.

16. Pro zatverdzhennia Poriadku vykorystannia koshtiv, peredbachenykh u derzhavnomu biudzheti dlia pidtrymky tvarynnytstva, zberihannia ta pererobky silskohospodarskoi produktsii, akvakultury (rybnytstva): Postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy. [On approval of the Procedure for the use of funds provided for in the state budget to support livestock breeding, storage and processing of agricultural products, aquaculture (fish farming): Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine]. 107. As of 07.02.2018. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/107-2018-п#Text>.

17. Pro rozpodil koshtiv, peredbachenykh u derzhavnomu biudzheti za prohramoiu 1201140 «Derzhavna pidtrymka tvarynnytstva, zberihannia ta pererobky silskohospodarskoi produktsii, akvakultury (rybnytstva)» na 2019 rik: Rozporiadzhennia Kabinetu Ministriv Ukrainy. [On the distribution of funds provided for in the state budget under program 1201140 “State support for livestock breeding, storage and processing of agricultural products, aquaculture (fish farming)” for 2019: Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine]. 196-p. As of 15.11.2019. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/196-2019-п#Text>.

18. Pro Derzhavnyi biudzhhet Ukrainy na 2020 rik: Zakon Ukrainy. [On the State Budget of Ukraine for 2020: Law of Ukraine]. 294-IX. As of 10.12.2020. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/294-20#Text>.

19. Pro Derzhavnyi biudzhhet Ukrainy na 2021 rik: Zakon Ukrainy. [On the State Budget of Ukraine for 2021: Law of Ukraine]. 1082-IX. As of 09.12.2021. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1082-20#Text>.

20. Pro Derzhavnyi biudzhhet Ukrainy na 2022 rik: Zakon Ukrainy. [On the State Budget of Ukraine for 2022: Law of Ukraine]. 1928-IX. As of 31.03.2023. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1928-20#Text>.

21. Pro Derzhavnyi biudzhhet Ukrainy na 2023 rik: Zakon Ukrainy. [On the State Budget of Ukraine for 2023: Law of Ukraine]. 2710-IX. As of 22.10.2023. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2710-20#Text>.

22. Pro Derzhavnyi biudzhhet Ukrainy na 2024 rik: Zakon Ukrainy. [On the State Budget of Ukraine for 2024: Law of Ukraine]. 3460-IX. As of 21.09.2024. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3460-20#Text>.

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ АГРАРНИХ НАУК УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ПРОДОВОЛЬЧИХ РЕСУРСІВ

ПРОДОВОЛЬЧІ РЕСУРСИ

ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ

Том 12 (2024), № 23

Підписано до друку 13.06.2024
Формат 60x84/4. Папір офсетний.
Друк цифровий.
Умов.друк.арк. 21,4. Обл.-видавн. арк. 19,9.
Наклад 300 прим. Зам. № 801-23.

Віддруковано
ТОВ «Книжковий Дім»
03022, Київ, вул. Михайла Максимовича, 2