

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ХЛІБА З ПІДВИЩЕНОЮ ХАРЧОВОЮ ЦІННІСТЮ

Науменко О. В.¹, д.т.н., проф., завідувача відділом
<https://orcid.org/0000-0002-1691-1381>

Гетьман І. А.¹, PhD, с.н.с.
<https://orcid.org/0000-0002-9448-9956>

Лук'янчук І. В.¹, аспірантка
<https://orcid.org/0009-0007-4876-0470>

Андрусішин І. М.², д.б.н., с.н.с., в.о. завідувачої лабораторії
<https://orcid.org/0000-0001-5827-3384>

Каплуненко В. Г.³, д.т.н., директор
<https://orcid.org/0000-0002-5492-7990>

¹Відділ технологій хліба та біотрансформації зернових продуктів
 Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна

²лабораторія медико-біологічних критеріїв професійних та екологічних впливів
 ДУ «Інститут медицини праці ім. Ю.І. Кундієва НАМН», Київ, Україна

³ТОВ «Наноматеріали і нанотехнології», Київ, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2025-25-21>

Предмет. Технологія хліба з підвищеною харчовою цінністю. **Мета.** Дослідити комплексний вплив способу тістоприготування, додавання закваски, ферментних препаратів у поєднанні з мінеральним комплексом на споживчі характеристики хліба з нетрадиційною рослинною сировиною. **Методи.** Використовували органолептичні та фізико-хімічні методи досліджень тіста, хліба згідно загальноприйнятих методик. Уміст макро- та мікроелементів визначали методом оптико-емісійної спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою. Математична обробка отриманих результатів виконана за допомогою програмного забезпечення приладу ОЕС-ІЗП Winlab32 в операційній системі Windows XP prof, статистична обробка даних опрацьована з використанням пакету програм Microsoft Excel. **Результати.** Показано, що суттєво покращити харчову цінність пшенично-конопляного хліба можливо за рахунок фортифікації хліба мінеральними комплексами. Удосконалено технологію пшенично-конопляного хліба, яка регламентує: двоетапний процес тістоприготування з використанням закваски на чистих культурах *Limosilactobacillus reuteri* та *Lactiplantibacillus pentosus*; стабілізацію пшенично-конопляної тістової системи додаванням ферментного препарату (α -Amylase 0,12%, Lipase SQfiltrase 0,15%, Transglutaminase 0,025% до маси борошна); збагачення хліба мікроелементами: цинком, селеном, залізом та хромом, що забезпечує гігієнічні вимоги до функціонального харчування. **Сфера застосування результатів.** Отримані результати досліджень можуть бути використані при моделюванні рецептур хліба оздоровчо-профілактичного призначення з підвищеною харчовою цінністю та розвитку технологій фортифікованих харчових продуктів.

Ключові слова: хліб, борошно конопляне цільнозернове, закваска, ферменти, мікроелементи, технологічний процес, харчова цінність

IMPROVEMENT OF BREAD TECHNOLOGY WITH INCREASED NUTRITION VALUE

Oksana Naumenko¹, D-r of Sciences, Professor, Head of Department
<https://orcid.org/0000-0002-1691-1381>

Inna Hetman¹, PhD, Scientific Researcher
<https://orcid.org/0000-0002-9448-9956>

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

Iryna Andrusyshyn², D-r of Biological Sciences, Senior Researcher, Acting Head of Laboratory
<https://orcid.org/0000-0001-5827-3384>

Volodymyr Kaplunenko³, D-r of Sciences, Manager
<https://orcid.org/0000-0002-5492-7990>

¹Department of Bread Technologies and Biotransformation of Grain Products
 Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine

²Laboratory of medical and biological criteria for occupational and environmental influences of State Institution «Kundiiev Institute of Occupational Health of the National Academy of Medical Sciences of Ukraine», Kyiv, Ukraine
³LLC «Nanomaterials and Nanotechnologies», Kyiv, Ukraine

Subject. Technology of bread with increased nutritional value. **Purpose.** To investigate the complex influence of the dough preparation method, the addition of sourdough starter, enzyme preparations in combination with a mineral complex on the consumer characteristics of bread with non-traditional plant raw materials. **Methods.** Organoleptic and physicochemical methods of dough and bread research were used according to generally accepted methods. The content of macro- and microelements was determined by optical emission spectroscopy with inductively coupled plasma. Mathematical processing of the obtained results was performed using the Winlab32 software of the OES-IZP instrument in the Windows XP professional operating system, statistical data processing was performed using the Microsoft Excel program package. **Results.** It has been shown that it is possible to significantly improve the nutritional value of wheat-hemp bread by fortifying the bread with mineral complexes. The technology of wheat-hemp bread has been improved, which regulates: a two-stage dough preparation process using sourdough on pure cultures *Limosilactobacillus reuteri* and *Lactiplantibacillus pentosus*; stabilization of the wheat-hemp dough system by adding an enzyme preparation (α -Amylase 0.12%, Lipase SQfiltrase 0.15%, Transglutaminase 0.025% to the flour mass); enrichment of bread with trace elements – zinc, selenium, iron and chromium, which ensures hygienic requirements for functional nutrition. **Scope of the results.** The obtained research results can be used in modeling recipes for health-promoting bread with increased nutritional value and development of fortified food technologies.

Key words: bread, whole grain hemp flour, sourdough, enzymes, trace elements, technological process, nutritional value

Постановка проблеми. За останні десятиріччя більшість населення світу, в т. ч. України, в своєму раціоні стали вживати харчові продукти переважно промислового виробництва, в яких внаслідок технологічної переробки природної сировини значно зменшується вміст мікроелементів. Ситуація погіршується за рахунок того, що навіть у самій сировині вміст мікроелементів значно зменшується за умов використання в землеробстві інтенсивних технологій виробництва [1, 2].

Одним із способів корегування мікронутрієнтного складу раціону населення є додавання мінеральних речовин до сировини або харчових продуктів, так звана «фортифікація мікроелементами на стадії виробництва». Ця практика використовується для компенсації дефіциту поживних речовин, спричиненого виснаженням ґрунтів, зміною харчових звичок або недостатнім споживанням фруктів та овочів [3]. Виробники харчових продуктів додають обрані мікронутрієнти, зокрема, вітамін А, D, залізо, йод, цинк до таких продуктів як: олійно-жирові, молочні, цукор, сіль та борошно. Перевагою цього способу є точність корегування мінерального складу продуктів, а також те, що мікрокількості добавок, як правило, не змінюють суттєво технологічний процес, водночас значно підвищують харчову цінність виробів [4].

В Україні розроблено унікальні технології отримання мікроелементів у формі сполук з харчовими кислотами (карбоксилатів), які неможливо отримати за допомогою класичних хімічних реакцій. Вказані сполуки пройшли ретельні всебічні дослідження у провідних медичних установах щодо їх безпечності та біологічної ефективності [5].

Хліб та хлібобулочні вироби є найбільш доступними і широкоживаними харчовими продуктами, і тому актуальним завданням хлібопекарської галузі є створення виробів підвищеної харчової цінності. Такого удосконалення особливо потребує пшеничний хліб, найбільш збіднений за вмістом мікроелементів серед хлібних виробів [6]. Згідно наукових даних, найбільш дефіцитними мікроелементами в харчових продуктах, в тому числі пшеничному хлібі, є цинк (Zn), селен (Se), залізо (Fe) та хром (Cr) [7]. Селен володіє антиоксидантними властивостями, сприяє збереженню природної рівноваги між утворенням вільних радикалів і їх виведенням з організму. Цинк бере участь у регуляції вироблення

шкірного сала, сприяє загоєнню ран і підтримує здоров'я шкіри та волосся. Залізо в організмі відповідає за транспортування кисню завдяки гемоглобіну, підтримку імунітету, енергетичний обмін, синтез ДНК, а також за здоров'я шкіри, волосся та нігтів. Хром сприяє підтримці оптимального рівня цукру в крові, профілактиці атеросклерозу та серцево-судинних порушень, знижує рівень холестерину в крові [8, 9]. Тому так важливо, щоб ці корисні мікроелементи були присутніми в достатній кількості в харчовому раціоні.

Перспективною добавкою до рецептури хліба є продукти переробки ненаркотичних конопель, оскільки вони характеризуються високим вмістом жирів, білків, вуглеводів, харчових волокон, вітамінів і мінеральних речовин [10].

Встановлено, що найбільш доцільне дозування борошна конопляного цільозернового (БКЦ) знаходиться у межах 5–20%. При перевищенні цього дозування БКЦ хоча і покращується харчова цінність хліба, але суттєво погіршуються показники якості, зокрема, знижується питомий об'єм хліба, погіршується пористість [11]. Встановлено, що для стабілізації якості комбінованої тістової системи з різними конопляними продуктами ефективними є ферментні препарати [12]. Водночас за дозування конопляного борошна на рівні 10% до маси пшеничного борошна хоча і покращується харчова цінність хліба за основними нутрієнтами, добова потреба за мікроелементами забезпечується недостатньо.

Отже, збагачення хліба необхідними для життєдіяльності організму людини нутрієнтами з одночасним збереженням добрих фізико-хімічних, органолептичних властивостей продукту є актуальною проблемою, яка потребує вирішення.

Метою роботи було дослідити комплексний вплив способу тістоприготування, додавання закваски, ферментних препаратів у поєднанні з мінеральним комплексом на споживчі характеристики хліба з нетрадиційною рослинною сировиною.

Матеріали та методи дослідження. У дослідженнях використовували борошно пшеничне вищого сорту (ТОВ «Наш млин», Україна), борошно конопляне цільозернове (ТОВ «Агроснаб», Україна), дріжджі хлібопекарські пресовані «Львівські дріжджі» (ПрАТ «Компанія Ензим», Україна), сіль (ДП «Артемсіль», Україна), цукор (ТОВ «Саркара-Груп», Україна), концентрат мікроелементів («Nanomaterials&Nanotechnologies LLC», Україна), вода водопровідна.

Ферментні препарати: харчова концентрована грибова α -Amylase SQzyme FAL (Aspergillus oryzae) (ЕС 3.2.1.1), активність 30 000 од./мл (Suntaq, Китай); харчова Lipase SQfiltrase, активність 10 000 од./г (Suntaq, Китай); харчова Transglutaminase Транзим – 100, активність 100 од./г (Enzim Biotech, Україна).

Закваска. Хлібопекарська закваска, виготовлена з пшеничного борошна та штамів *Limosilactobacillus reuteri* та *Lactiplantibacillus pentosus* у відділі технологій хліба та біотрансформації зернових продуктів Інституту продовольчих ресурсів Національної академії аграрних наук України. Закваску розведено за способом згідно з [13]. Показники якості закваски у виробничому циклі представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Показники якості закваски у виробничому циклі

Показник	Значення
Масова частка вологи, %	68 ± 2,0
Тривалість бродіння, год	8 ± 0,1
Кінцева кислотність, град	16,0 ± 2,0
Активність МКБ, хв.	55 – 65

Концентрат мікроелементів: У роботі використовували рідкий концентрат мікроелементів (ТОВ «Наноматеріали і нанотехнології», Україна). Склад концентрату: К – 10 г/дм³; Mg – 5 г/дм³; Zn – 2 г/дм³; Se – 20 мг/дм³; Fe – 2 г/дм³; Cr – 20 мг/дм³. Мінеральні речовини К та Mg у складі концентрату використано для створення буферного розчину, тому їхня кількість у розчині була дуже невеликою

та не враховувалась у подальших дослідженнях.

Вся сировина та реактиви відповідали нормативній документації та зберігались в умовах, зазначених на маркуванні.

Рецептури хліба. Готували тісто на основі борошна пшеничного вищого сорту за рецептурами, що наведені в табл. 2. У всі дослідні зразки вносили 10% БКЦ від маси борошна пшеничного, згідно результатів попередніх досліджень [12].

Рецептури хліба, які було використано для досліджень

Сировина, кг на 100 кг борошна	Контроль	Дослідні зразки			
		1	2	3	4
Борошно пшеничне вищого сорту	100	45	80	80	90
Борошно конопляне цілнозернове	-	10	10	10	10
Дріжджі хлібопекарські пресовані	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Сіль кухонна	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
Цукор	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Закваска на чистих культурах	-	-	20	20	-
Опара	-	85	-	-	-
Ферментний препарат:					
α-Amylase	-	0,12	0,12	0,12	0,25
Lipase SQfiltrase	-	0,15	0,15	0,3	0,3
Transglutaminase	-	0,025	0,025	0,05	0,05
Вода	55	15	45	45	55

Приготування хліба. Зразок № 1 готували на опарі, зразки № 2 та № 3 – на заквасці з чистих культур, з додаванням ферментного препарату, відповідно, у кількості 0,295%, 0,295% та 0,470% до маси борошна (дозування кожного ферменту в ферментному препараті див. в табл. 2), зразок № 4 – безопарним способом, з додаванням ферментного препарату 0,60% до маси борошна.

Контроль готували безопарним способом, без внесення БКЦ та ферментного препарату. Дріжджі вносили у вигляді дріжджової суспензії (Д:В=1:3), сіль та цукор – у вигляді розчинів (концентрацією 26% та 50%, відповідно).

Для приготування опари використовували 45% загальної кількості борошна (вологістю 45-49%), 80% від загальної кількості води та всю кількість дріжджів. Після замішування опари її витримували за температури 28–32°C протягом 150-180 хв. Після цього додавали всі інші інгредієнти згідно рецептури та замішували тісто.

Закваску до рецептури тіста вносили у кількості 20% до маси борошняної суміші, оскільки кислотність готового пшеничного хліба не повинна перевищувати 4,5 град [14].

Тісто замішували на тістомісилці «KVL4100S» (Китай) впродовж 12±1 хв. Тривалість бродіння тіста становила 50–100 хв залежно від зразку за температури 32±2°C до збільшення об'єму в 1,5 рази. Остаточне формування тістових заготовок проводили вручну. Вистоювання тіста проводили протягом 28–45 хв залежно від зразку за температури 35±2°C в шафі «XLT 133-UNOX» (Італія). Маса тістових заготовок становила 300±10 г. Готовність тістових заготовок у процесі вистоювання визначали за зростанням об'єму. Тістові заготовки випікали за температури 185-200 °C в печі «Unox XFT133» (Італія) впродовж 30±2 хв.

Приготування хліба, збагаченого мікроелементами.

Проведено готування хліба за рецептурою зразка № 2 (див. табл. 2). Додатково у воду для тістоприготування вносили 6,0 см³ концентрату мікроелементів на 1,0 кг тіста. Далі виконували готування хліба, як описано вище для зразка №2. Контролем слугував хліб без внесення концентрату мікроелементів.

Методи аналізу тіста, хліба.

Підймальну силу тіста визначали за спливанням кульки тіста, титровану кислотність тіста – титриметричним методом, масову частку вологи тіста – експрес-висушуванням на приладі Чижової (ТОВ «Оліс», Україна) згідно з [13].

Визначення органолептичних, фізико-хімічних показників якості хліба (масова частка вологи, кислотність, питомий об'єм, пористість) проводили через 4 год після випікання за DSTU 7045-2009 [15]. Вологість хліба визначали стандартним методом висушування наважки в сушильній шафі СЕШ-3М (ТОВ «УкрАналітика», Україна) при температурі 130°C,

об'єм хліба – за допомогою приладу марки ОХЛ згідно з [16]. Пористість досліджували за допомогою приладу Журавльова (ТОВ «НВФ Стандарт-М», Україна) згідно з методом, описаним С. Verheyen et al. [17].

Визначення крихкватості хліба.

З м'якушки вирізали два шматки у формі паралелепіпеда по 5 г кожен і перенесли у конічну колбу об'ємом 250 см³. Вміст колби протягом 5 хв перемішували на вібраційному змішувачі. Крихти, що утворились внаслідок тертя двох шматків, збирали і зважували на вагах. Крихкватість X , у % до маси м'якушки хліба, визначали за формулою:

$$X = \frac{G_1}{G_2} \times 100$$

де G_1 – маса крихти, г; G_2 – маса наважки хліба, г.

Визначення водопоглинальної здатності м'якушки. М'якушку хліба попередньо подрібнювали і відбирали наважку кришок масою 3 г. Наважку перенесли на сито (12 отворів на 1 см³) і протягом 5 хв із піпетки по краплям додавали 17 см³ дистильованої води. Змочену м'якушку збирали з сита і знову зважували. Кількість води, поглинутої хлібом V , у % на СР, обчислювали за формулою:

$$V = \frac{(G_1 - G_2) \times 100 \times 100}{G_2 \times (100 - W)}$$

де G_1 – маса м'якушки хліба після змочування, г; G_2 – маса наважки м'якушки до змочування, г; W – масова частка вологи в м'якушці, %.

Вміст макро- та мікроелементів визначали методом оптико-емісійної спектроскопії з індуктивно зв'язаною плазмою (ОЕС-ІЗП) на приладі «Optima 2100 DV» фірми Perkin-Elmer (США) в лабораторії сектору з вивчення мікроелементозів ДУ Інституту медицини праці НАМН України згідно [18].

Математична обробка отриманих результатів виконувалась за допомогою програмного забезпечення приладу ОЕС-ІЗП Winlab32 в операційній системі Windows XP prof, статистична обробка даних опрацьована з використанням пакету програм Microsoft Excel. Результати представлено як середньоарифметичні значення, $n=3$; $p \geq 0,95$; $\delta=3\%$.

Результати та їх обговорення.

Вибір способу тістоприготування пшенично-конопляного хліба.

Для стабілізації якості тістової системи та готового хліба з БКЦ було опрацьовано різні способи тістоприготування з використанням: закваски молочнокислих бактерій, ферментів, опари. Було проведено випікання пшеничного хліба згідно рецептур, наведених у табл. 2. Результати дослідження параметрів технологічного процесу, показників якості тіста представлено в табл. 3.

Таблиця 3

Показники якості тіста з додаванням БКЦ за різних умов тістоприготування

($n=3$; $p \geq 0,95$; $\delta=3\%$.)

Показники	Контроль	Дослідні зразки			
		№1	№2	№3	№4
Масова частка вологи тіста, %	42,7±0,5	43,0±0,5	43,0±0,5	42,9±0,5	42,8±0,5
Кислотність тіста, град:					
<i>початкова</i>	1,8±0,1	2,6±0,1	2,4±0,1	2,4±0,1	1,6±0,1
<i>кінцева</i>	2,6±0,1	4,6±0,1	4,3±0,1	4,5±0,1	2,8±0,1
Підймальна сила, с	48±1	32±1	28±1	30±1	50±1
Тривалість бродіння, хв	100±2	55±2	50±2	50±2	100±2
Тривалість вистоювання, хв	45±2	40±2	28±2	35±2	44±2

Згідно даних табл. 3 бачимо, що спосіб тістоприготування безпосередньо впливає на кислотонакопичення та тривалість технологічного процесу. Так, у зразках № 1–3 інтенсифікуються процеси дозрівання тіста. Про це свідчать показники підйимальної сили,

які зросли на 33,3–41,7%; а показники тривалості вистоювання зменшились на 11,2–37,7%. У цих зразках також зменшилась тривалість бродіння на 45-50 хв.

Кислотність за період бродіння в зразках на опарі та заквасці (№ 1–3) зросла на 1,9–2,1 град, в той час як у контролі та зразку №4 лише на 0,8–1,2 град. Це означає, що збільшення кількості ферментів без корегування способу тістоприготування практично не впливало на інтенсифікацію процесів дозрівання.

За групою зазначених показників найкращим визнано зразок № 2, в якому спостерігали помірне зростання кислотності. Водночас у цьому зразку процеси дозрівання відбувались найшвидше – 78 хв проти 95–85 хв у зразках №1 та № 3.

Досліджено вплив різних умов тістоприготування на формування фізико-хімічних показників якості готових виробів. Результати подано в табл. 4, рис. 1.

Таблиця 4

Фізико-хімічні показники якості пшеничного хліба з БКЦ за різних умов тістоприготування
($n=3$; $p \geq 0,95$; $\delta=3\%$)

Показники	Контроль	Дослідні зразки			
		№1	№2	№3	№4
Кислотність, град	2,2±0,2	3,8±0,2	4,0±0,2	4,0±0,2	2,4±0,2
Масова частка вологи,%	42,0±0,5	42,2±0,5	42,0±0,5	42,0±0,5	42,2±0,5
Пористість,%	68,0±1,0	72,0±1,0	78,0±1,0	74,0±1,0	70,0±1,0
Питомий об'єм хліба, см ³ /г	2,1±0,1	2,5±0,1	3,0±0,1	2,8±0,1	2,3±0,1
Крихкуватість через 72 год,%	9,0±0,5	7,8±0,5	7,0±0,5	7,5±0,5	8,0±0,5
Водопоглинальна здатність м'якушки через 72 год,% на СР	280,9±1,0	410,0±1,0	413,9±1,0	416,0±1,0	350,7±1,0



а)



б)

Рис. 1. Зображення готових виробів:

а) зовнішній вигляд; б) в розрізі (зліва направо: контроль, зразок №1, зразок №2, зразок №3, зразок №4)

зростання пористості було в зразку, в який вносили лише ферменти і готували тісто безопарним способом (№ 4).

Отримані результати співпадають з дослідженнями інших науковців, які також спостерігали позитивний технологічний ефект від додавання закваски, ферментів, використання опарного способу тістоприготування у технологіях виробів зі залученням нетрадиційної рослинної сировини [19, 20].

Контрольний зразок хліба характеризувався нерозвиненою пористістю, що негативно впливало на його якість. При додаванні до пшеничного борошна БКЦ спостерігали

Згідно результатів табл. 4 встановлено, що різні способи тістоприготування та дозування ферментів позитивно впливали на питомий об'єм виробів, пористість, колір скоринки та м'якушки, але з різною інтенсивністю (рис. 1). Використання закваски та ферментів (зразок № 2) найкраще стимулювало зростання питомого об'єму хліба – на 42,9% більше, ніж у контролі; та на 20,0% більше, ніж у зразку на опарі з такою ж кількістю ферментів (зразок № 1) (табл. 4).

Пористість всіх дослідних зразків хліба була більшою на 2,9–13,6%, порівняно з контролем. Варто відмітити, що мінімальне

потемніння скоринки та м'якушки хліба у всіх дослідних зразках в тому чи іншому ступені. (рис. 1). Це пояснюється збільшенням кількості цукрів, які під час випікання вступають у реакцію Майяра та наявністю у конопляній сировині значної кількості поліфенолів, які при окисленні темніють [21]. Подібний вплив конопляного борошна на питомий об'єм, форму та сенсорні характеристики хліба спостерігали також і інші науковці [22].

Встановлено, що використання опари (зразок № 1) та закваски в поєднанні з ферментами (зразки № 2–3) позитивно впливало на колір скоринки, смак, аромат та розжовуваність м'якушки. Показано, що у варіантах тістоприготування з використанням закваски (зразки № 2–3) формувалася найменш темний м'якуш за рахунок позитивного впливу кислот, які частково нейтралізували протікання таких реакцій. Показник вологості хліба в усіх варіантах, включаючи контроль, відповідав оптимальним значенням.

Використання опарного способу приготування тіста або внесення закваски позитивно впливали також на свіжість хліба, забезпечуючи його м'якість упродовж більш тривалого терміну, про що свідчили показники водопоглинальної здатності та крихкуватості у зразках № 1–3. Найкращою водопоглинальною здатністю характеризувались зразки хліба № 2 та № 3, які мали в складі закваску та ферменти. Зразки з закваскою (№ 2–3) характеризувались також найменшою крихкуватістю – 7,0–7,5%, в той час як контрольний зразок найбільшою – 9,0%.

Встановлено, що за сукупністю показників, кращими споживчими властивостями характеризувався зразок хліба №2, який було обрано для подальших досліджень.

Збагачення пшенично-конопляного хліба мікроелементами.

Харчові продукти необхідно збагачувати мікронутрієнтами до рівня, що не перевищує 50% добової потреби в окремому мікронутрієнті при вживанні середньої добової кількості відповідно до «Норм фізіологічних потреб населення в основних харчових речовинах та енергії» [наказ МОЗ від 18.11.1999 № 272]. Саме такого принципу дотримувались під час розрахунку дозування мікроелементів для збагачення пшенично-конопляного хліба. Проведено випікання хліба за обраним варіантом тістоприготування з використанням закваски та встановленою кількістю ферментів (зразок № 2, рецептуру подано в табл. 2). Згідно проведених розрахунків для збагачення мікроелементами на 1,0 кг тіста вносили 6,0 см³ концентрату.

Визначено вміст окремих мікроелементів у хлібі без (контроль) та з внесенням концентрату (дослідний зразок) (табл. 5).

Таблиця 5

Забезпечення добової потреби у мінеральних речовинах при споживанні 277 г пшенично-конопляного хліба

Нутрієнти	Добова потреба	Міститься в 277 г хліба		Покриття добової потреби,%	
		Контроль	Дослідний зразок	Контроль	Дослідний зразок
Mg	350 мг	71,4	147,8	20,4	42,2
K	2600 мг	413,2	1009,6	15,9	38,8
Zn	12 мг	2,3	7,8	19,2	65,0
Fe	17 мг	2,9	8,5	17,1	50,0
Se	50 мкг	9,8	23,4	19,6	46,8
Cr	50 мкг	1,4	20,7	2,8	41,4

Встановлено, що за рахунок додавання БКЦ та концентрату мінеральних речовин у готовому виробі вдвічі зросла кількість макроелементів магнію та калію порівняно з контролем. Уміст мікроелементів заліза та цинку в хлібі збільшився в 1,8–2,2 рази, а селену та хрому – в 1,5–1,2 рази (табл. 5).

У науковій літературі також повідомляється про збагачення хліба макро- та мікроелементами, зокрема, шляхом додавання конопляної сировини. Встановлено, що вміст мінеральних речовин може значно варіювати залежно від використаного сорту конопель, географії та умов їх вирощування та гатунку борошна [23]. Так, хліб, отриманий з

додаванням борошна з конопель сорту *Dacia Secuinei*, містив найвищий відсоток Ca, а хліб з конопель сорту *Zenit* – найвищий відсоток K [24]. Однак, за рахунок внесення лише конопляних продуктів не було підвищено вміст таких мікроелементів, наприклад, як Se та Cr.

Розраховано покриття добової потреби в мінеральних речовинах для жінок I групи фізичної активності (середня важкість, коефіцієнт фізичної активності – 1,4) при споживанні 277 г хліба [наказ МОЗ від 18.11.1999 р. №272]. Результати подані в табл. 5 свідчать, що при споживанні хліба покриття добової потреби задовольняється на 38,8–65,0% залежно від мікроелемента. Варто відмітити, що найвище значення покриття добової потреби було встановлено для цинку та заліза, відповідно, на 50,0% та 65,0%, що задовольняє вимоги до функціонального харчування.

Таким чином, розробка та промислове впровадження хлібних виробів з мікроелементними добавками-карбоксилатами забезпечує перехід на новий рівень їх якості та безпечності, підвищує конкурентоспроможність та харчову цінність хлібопекарської продукції.

Подальші дослідження будуть спрямовані на апробацію інших видів вітамінно-мінеральних комплексів для комплексного поліпшення харчової цінності пшеничного хліба.

Висновки.

Незбалансованість сучасного харчування людини, що призводить до недоотримання необхідної кількості добової потреби в мікро- та макронутрієнтах, є нині глобальною проблемою харчової галузі. До масових сортів хліба відноситься пшеничний хліб, який має високу калорійність, та при цьому містить критично малу кількість таких важливих біологічно активних речовин, як: вітаміни, харчові волокна та мінеральні елементи.

Показано, що підвищити харчову цінність пшенично-конопляного хліба можливо за рахунок фортифікації хліба мінеральними комплексами.

Удосконалено технологію пшенично-конопляного хліба підвищеної харчової цінності, яка регламентує: двоетапний процес тістоприготування з використанням закваски на чистих культурах *Limosilactobacillus reuteri* та *Lactiplantibacillus pentosus*; стабілізацію пшенично-конопляної тістової системи додаванням ферментного препарату (α -Amylase 0,12%, Lipase SQfiltrase 0,15%, Transglutaminase 0,025% до маси борошна); збагачення хліба мікроелементами – цинком, селеном, залізом та хромом, що забезпечує гігієнічні вимоги до функціонального харчування.

Бібліографія

1. Гріщенко А. В. Дослідження тенденцій розвитку хлібопекарської промисловості України. Агросвіт. 2025. 1. С. 77–89. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2025.1.77>.
2. Anastasova L., Petreska-Ivanovska T., Petkovska R., Petrusevska-Tozi L. Concepts, benefits and perspectives of functional dairy food products. Macedonian Pharmaceutical Bulletin. 2019. 02. P. 73–83. <https://doi.org/10.33320/maced.pharm.bull.2018.64.02.008>.
3. Куделко А., Бажай-Жежерун С. Доцільність фортифікації борошна. Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 89 Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 3–7 квітня 2023 р., м. Київ. Київ: НУХТ. Ч. 1. С. 88.
4. Смоляр В. І., Петрашенко Г. І., Голохова О. В. Фортифікація харчових продуктів. Проблеми харчування. 2014. 1. С. 29–32.
5. Пат. №43032 Україна, МПК А61К 31/295 (2009.01) А61К 33/00, А23L 1/00. Мікроелементний комплекс на основі нанокрбоксилатів біогенних металів для збагачення продуктів харчування щоденного вжитку, виробництва дієтичних добавок, функціональних продуктів та продуктів спеціального діє. Косінов М. В., Гуліч М. П., Каплуненко В. Г.; заявник і патентовласник «Наноматеріали і нанотехнології». № u200902810; Заявл. 26.032009; опубл. 27.07.2009. 6 с.
6. Kaprelyants L., Yegorova A., Trufkati L., Pozhitkova L. Functional foods: prospects in Ukraine. Food science and technology. 2009. №13 (2). P. 15–23. <https://doi.org/10.15673/fst.v13i2.1382>.

7. Burton R.A., Andres M., Cole M., Cowley J.M., Augustin M.A. Industrial hemp seed: From the field to value-added food ingredients. *Journal of Cannabis Research*. 2022. 4 (1). P. 45. <https://doi.org/10.1186/s42238-022-00156-7>.
8. López-Calabozo R., Martínez-Martín I., Rodríguez-Fernández M., Absi Y., Vivar-Quintana A. M., Revilla I. The Influence of the Nutritional and Mineral Composition of Vegetable Protein Concentrates on Their Functional Properties. *Foods*. 2025. 14. P. 509. <https://doi.org/10.3390/foods14030509>.
9. Kenneth H. B., Hambidge K. M., Ranum P. Zinc fortification of cereal flours: Current recommendations and research needs. *Food and Nutrition Bulletin*. 2010. 31 (1). P. 62–74 <https://doi.org/10.1177/15648265100311s106>.
10. Xu J., Bai M., Song H., Yang L., Zhu D., Liu H. Hemp (*Cannabis sativa* subsp. *sativa*) Chemical composition and the application of hempseeds in food formulations. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2022. 77 (4). P. 504–513. <https://doi.org/10.1007/s11130-022-01013-x>.
11. Švec I., Hrušková M. Properties and nutritional value of wheat bread enriched by hemp products. *Potravinárstvo*. 2015. 9 (1). P. 304–308. <https://doi.org/10.5219/487>.
12. Gunko S., Naumenko O., Hetman I., Khomichak L., Lukianchuk I., Bilko M., Bober A., Zavadská O., Yashchuk N., Liashenko S. Determining the influence of enzymes and sourdough of lactic acid bacteria on the quality of wheat-hemp bread. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2025. 5(11 (137)). P. 60–70. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.337473>.
13. 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>.
14. DSTU 7517:2024 Bread made from wheat flour. General technical conditions. (2025). Київ: ДП "УкрНДНЦ". Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=112017 (accessed on 30 October 2025).
15. DSTU 7045-2009 Bakery products. Methods for determining physicochemical parameters. (2010). Kyiv: DP «UkrNDNTs». Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=83710 (accessed on 30 October 2025).
16. Hetman I., Mykhonik L., Kuzmin O., Shevchenko A. Influence of spontaneous fermentation leavens from cereal flour on the indicators of the technological process of making wheat bread. *Ukrainian Food Journal*. 2021. 10 (3). P. 492–506. <http://dx.doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-3-6>.
17. Verheyen C., Albrecht A., Elgeti D., Jekle M., Becker T. Impact of gas formation kinetics on dough development and bread quality. *Food Research International*. 2015. 76 (3). P. 860–866. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.08.013>.
18. Shuliak S. V., Chechet O. M., Haide, O. S., Dobrozhan Y. V., Kravtsova O. L., Bardyk I. Y., Krushelnytska O. V., Gutyj B. V. Validation of the method for determining toxic elements, micro- and macroelements in biological samples using atomic emission inductively coupled plasma (ICP OES). *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*. 2022. 24 (107). P. 82–87. <https://doi.org/10.32718/nvlvet10714>.
19. Moroni A., Zannini E., Arendt E.K., Sensidoni G.. Exploitation of buckwheat sourdough for the production of wheat bread. *European Food Research and Technology*. 2012. № 10. P. 23–27. <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-012-1790-z>.
20. Amr A., & Ajo R. Production of two types of pocket-forming flat bread by the sponge and dough method. *Cereal Chemistry*. 2005. 82 (5). P. 499–503. <https://doi.org/10.1094/CC-82-0499>.
21. Tebben L., Chen G., Tilley M., Li Y. Individual effects of enzymes and vital wheat gluten on whole wheat dough and bread properties. *Journal of Food Science*. 2020. 85 (12). P. 4201–4208 <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15517>.
22. Mikulec A., Kowalski S., Sabat R., Skoczylas Ł., Tabaszewska M., & Wywrocka-Gurgul A. Hemp flour as a valuable component for enriching physicochemical and antioxidant properties of wheat bread. *LWT – Food Science and Technology*. 2019. 102. 164–172. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.028>.
23. Švec I., Hrušková M., & Jurinová I. Technological and nutritional aspect of different hemp types addition: Comparison of flour and wholemeal effect. *Croatian journal of food science and technology*. 2015. 7 (2). P. 68–75. <https://doi.org/10.17508/CJFST.2015.7.2.01>.
24. Rusu I. E., Marc R. A., Mureșan C. C., Mureșan A. E., Mureșan V., Pop C. R., Muste S. Hemp (*Cannabis sativa* L.) flour-based wheat bread as fortified bakery product. *Plants*. 2021. 10 (8). P. 1558. <https://doi.org/10.3390/plants10081558>.

References

1. Hrishchenko, A. V. Doslidzhennia tendentsii rozvytku khlibopekarskoi promyslovosti Ukrainy [Research into trends in the development of the baking industry in Ukraine]. *Ahrosvit [Agro World]*. 2025. 1. 77–89. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2025.1.77> [in Ukrainian].
2. Anastasova, L., Petreska-Ivanovska, T., Petkovska, R., Petrusevska-Tozi, L. Concepts, benefits and perspectives of functional dairy food products. *Macedonian Pharmaceutical Bulletin*. 2019. 02. 73–83. <https://doi.org/10.33320/maced.pharm.bull.2018.64.02.008>.
3. Kudelko, A., Bazhai-Zhezherun, S. Доцільність фортифікації борошна [The feasibility of flour fortification]. *Naukovi zdobutky molodi – vyrishenniu problem kharchuvannia liudstva u XXI stolitti: materialy 89 Mizhnarodnoi naukovoi konferentsii molodykh uchenykh, aspirantiv i studentiv, 3–7 kvitnia 2023 r., m. Kyiv. Kyiv: NUKhT, 1, 88.* [in Ukrainian].
4. Smoliar, V. I., Petrashenko, H. I., Holokhova, O. V. Fortyfikatsiia kharchovykh produktiv. [Fortification of food products]. *Problemy kharchuvannia [Nutrition issues]. Проблеми харчування*. 2014. 1. 29–32. [in Ukrainian].
5. Kosinov, M. V., Hulich, M. P., Kaplunenko, V.H. Patent. № 43032 Ukraina, МПК А61К 31/295 (2009.01) А61К 33/00, А23L 1/00. Mikroelementnyi kompleks na osnovi nanokarboksylativ biogenykh metaliv dlia zbahachennia produktiv kharchuvannia shchodennoho vzhytku, vyrobnytstva diietychnykh dobavok, funktsionalnykh produktiv ta produktiv spetsialnoho diie. [A microelement complex based on nanocarboxylates of biogenic metals for enriching everyday food products, producing dietary supplements, functional foods and special dietary products.]; Applicant and Patent Attorney LLC «Nanomaterials and Nanotechnologies». № u200902810; stated. 26.03.2009; Bjul. 27.07.2009. 6 p. [in Ukrainian].
6. Kaprelyants, L., Yegorova, A., Trufkati, L., Pozhitkova, L. Functional foods: prospects in Ukraine. *Food science and technology*. 2009. 13 (2). P. 15–23. <https://doi.org/10.15673/fst.v13i2.1382>.
7. Burton, R. A., Andres, M., Cole, M., Cowley, J. M., Augustin, M. A. Industrial hemp seed: From the field to value-added food ingredients. *Journal of Cannabis Research*. 2022. 4 (1). P. 45. <https://doi.org/10.1186/s42238-022-00156-7>.
8. López-Calabozo, R., Martínez-Martín, I., Rodríguez-Fernández, M., Absi, Y., Vivar-Quintana, A. M., Revilla, I. The Influence of the Nutritional and Mineral Composition of Vegetable Protein Concentrates on Their Functional Properties. *Foods*. 2025. 14. P. 509. <https://doi.org/10.3390/foods14030509>.
9. Kenneth, H. B., Hambidge, K. M., Ranum, P. Zinc fortification of cereal flours: Current recommendations and research needs. *Food and Nutrition Bulletin*. 2010. 31 (1). P. 62–74. <https://doi.org/10.1177/15648265100311s106>.
10. Xu, J., Bai, M., Song, H., Yang, L., Zhu, D., Liu, H. Hemp (*Cannabis sativa* subsp. *sativa*) Chemical composition and the application of hempseeds in food formulations. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2022. 77(4). P. 504–513. <https://doi.org/10.1007/s11130-022-01013-x>.
11. Švec, I., Hrušková, M. Properties and nutritional value of wheat bread enriched by hemp products. *Potravinarstvo*. 2015. 9 (1). P. 304–308. <https://doi.org/10.5219/487>.
12. Gunko, S., Naumenko, O., Hetman, I., Khomichak, L., Lukianchuk, I., Bilko, M., Bober, A., Zavadzka, O., Yashchuk, N., Liashenko, S. Determining the influence of enzymes and sourdough of lactic acid bacteria on the quality of wheat-hemp bread. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2025. 5 (11 (137)). P. 60–70. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.337473>.
13. 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>.
14. DSTU 7517:2024 Bread made from wheat flour. General technical conditions. (2025). Київ: ДП "УкрНДНЦ". Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=112017 (accessed on 30 October 2025).
15. DSTU 7045-2009 Bakery products. Methods for determining physicochemical parameters. (2010). Kyiv: DP «UkrNDNTs». Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/document.html?id_doc=83710 (accessed on 30 October 2025).
16. Hetman, I., Mykhonik, L., Kuzmin, O., Shevchenko, A. Influence of spontaneous fermentation leavens from cereal flour on the indicators of the technological process of making wheat bread. *Ukrainian Food Journal*. 2021. 10 (3). P. 492–506. <http://dx.doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-3-6>.

-
17. Verheyen, C., Albrecht, A., Elgeti, D., Jekle, M., Becker, T. Impact of gas formation kinetics on dough development and bread quality. *Food Research International*. 2015. 76 (3). P. 860–866. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.08.013>.
18. Shuliak, S. V., Chechet, O. M., Haidei, O. S., Dobrozhan, Y. V., Kravtsova, O. L., Bardyk, I. Y., Krushelnyska, O. V., Gutyj, B. V. Validation of the method for determining toxic elements, micro- and macroelements in biological samples using atomic emission inductively coupled plasma (ICP OES). *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Veterinary Sciences*. 2022. 24 (107). P. 82–87. <https://doi.org/10.32718/nvlvet10714>.
19. Moroni, A., Zannini, E., Arendt, E. K., Sensidoni G. Exploitation of buckwheat sourdough for the production of wheat bread. *European Food Research and Technology*. 2012. № 10. P. 23–27. <http://dx.doi.org/10.1007/s00217-012-1790-z>.
20. Amr, A., Ajo, R. Production of two types of pocket-forming flat bread by the sponge and dough method. *Cereal Chemistry*. 2005. 82(5). P. 499–503. <https://doi.org/10.1094/CC-82-0499>.
21. Tebben, L., Chen, G., Tilley, M., Li, Y. Individual effects of enzymes and vital wheat gluten on whole wheat dough and bread properties. *Journal of Food Science*. 2020. 85 (12). P. 4201–4208 <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15517>.
22. Mikulec, A., Kowalski, S., Sabat, R., Skoczylas, Ł., Tabaszewska, M., Wywrocka-Gurgul, A. Hemp flour as a valuable component for enriching physicochemical and antioxidant properties of wheat bread. *LWT – Food Science and Technology*. 2019. 102. 164–172. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.12.028>.
23. Švec, I., Hrušková, M., Jurinová, I. Technological and nutritional aspect of different hemp types addition: Comparison of flour and wholemeal effect. *Croatian journal of food science and technology*. 2015. 7(2). P. 68–75. <https://doi.org/10.17508/CJFST.2015.7.2.01>.
24. Rusu, I. E., Marc, R. A., Mureșan, C. C., Mureșan, A. E., Mureșan, V., Pop, C. R., Muste S. Hemp (*Cannabis sativa* L.) flour-based wheat bread as fortified bakery product. *Plants*. 2021. 10 (8). P. 1558. <https://doi.org/10.3390/plants10081558>.