

УДК 664:582.263

ПЕРСПЕКТИВНІ НАПРЯМКИ ВИКОРИСТАННЯ МІКРОВОДОРОСТІ CHLORELLA В ТЕХНОЛОГІЇ ПРОДУКТІВ ЗДОРОВОГО ХАРЧУВАННЯ

Кожемяка О. В.¹, аспірант,
<https://orcid.org/0009-0001-4928-7001>

Пешук Л. В.² д.с.-г.н., проф.,
професор кафедри харчових технологій,
<https://orcid.org/0000-0002-0967-8892>

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

¹Інститут продовольчих ресурсів НААН, Київ, Україна

²Дніпровський національний університет імені О. Гончара, м. Дніпро, Україна

<https://doi.org/10.31073/foodresources2023-21-08>

Предмет. Стабільною тенденцією є залучення до рецептур харчових продуктів нетрадиційних інгредієнтів, які не тільки урізноманітнюють асортимент продовольства, але й часто мають непересічну цінність у сенсі підвищення його харчової цінності. До зазначених нетрадиційних інгредієнтів належать мікроводорості, що є новим перспективним джерелом харчового білка та інших есенціальних компонентів. Отже, предметом цієї статті є обґрунтування можливості та доцільності застосування мікроводоростей у технології харчових продуктів. **Мета.** Раціональне осмислення наукових і техніко-технологічних питань поєднання біомаси мікроводоростей з традиційними інгредієнтами у складі харчових, зокрема м'ясних, продуктів дозволить надати зазначеним продуктам функціональних властивостей і розширити сировинну базу м'ясної промисловості. Зелені мікроводорості цілком відповідають зазначеній меті, оскільки мають збалансований амінокислотний склад, а також суттєвий вміст вітамінів, макро- мікроелементів, жирних кислот, пігментів тощо. Отже долучення мікроводоростей до складу рецептур м'ясних виробів забезпечуватиме фізіологічно повноцінне харчування, сприятиме збереженню здоров'я споживачів, підтриманню їхньої високої працездатності, належній опірності організму інфекційним захворюванням та іншим негативним чинникам. **Методи.** У рамках проведених досліджень використовували принципи системного підходу до наукових і фахових джерел, результатів попередніх досліджень; застосували методи причинно-наслідкового аналізу, методи логічного узагальнення результатів дослідження та формулювання висновків. **Результати.** Огляд літературних джерел показав, що комерціалізація мікроводоростей набирає обертів в країнах Азії, США, Європи. Виробники продуктів харчування поступово розширюють сферу використання мікроводоростей для задоволення попиту споживачів у продуктах функціонального призначення. **Сфера застосування результатів.** Мікроводорості є концентрованим джерелом білків, жирів, вуглеводів, вітамінів, мінеральних речовин, які необхідні організму людини. Тому їх можна застосовувати як інгредієнти в технології продуктів здорового харчування і споживати як дієтичні добавки.

Ключові слова: мікроводорості, Chlorella, функціональні продукти, білок, незамінні амінокислоти.

PROMISING AREAS FOR THE USE OF CHLORELLA MICROALGAE IN THE TECHNOLOGY OF HEALTHY FOOD PRODUCTS

Olha Kozhemiaka¹, Postgraduate,
<https://orcid.org/0009-0001-4928-7001>

Lyudmila Peshuk², D-r of Sc., Agricultural, professor,
Professor of the Department of Food Technologies
<https://orcid.org/0000-0002-0967-8892>

Sergii Verbytskyi¹, PhD, Engineering, Head of the Department
of Informational Support, Standardization and Metrology

Subject. A stable trend is the inclusion of non-traditional ingredients in food formulations, which not only diversify the range of foods, but also often have extraordinary value in terms of increasing their nutritional value. These non-traditional ingredients include microalgae, which are a new promising source of food protein and other essential components. So, the subject of this article is to substantiate the possibility and feasibility of using microalgae in food technology. **Purpose.** Rational understanding of the scientific, technical and technological issues of combining microalgae biomass with traditional ingredients in food products, in particular meat ones, will provide the said products with functional properties and expand the raw material base of the meat industry. Green microalgae fully meet the above goals, since they have a balanced amino acid composition, as well as a significant content of vitamins, macro-microelements, fatty acids, pigments, etc. Thus, the addition of microalgae to the composition of meat product recipes will provide physiologically complete nutrition, help preserving the health of consumers, maintaining their high performance, proper body resistance to infectious diseases and other negative environmental factors. **Methods.** The research was based on the principles of a systematic approach to scientific and professional sources, the results of previous studies; methods of cause-and-effect analysis, methods of logical generalization of research results and formulation of conclusions were used. **Results.** A review of the literature showed that the commercialization of microalgae is gaining momentum in Asia, the USA, and Europe. Food manufacturers are gradually expanding the use of microalgae to meet consumer demand for functional foods. **Scope of results.** Microalgae are a concentrated source of proteins, fats, carbohydrates, vitamins and minerals that are essential for the human body. Therefore, they can be used as ingredients in the production of healthy foods and consumed as dietary supplements.

Key words: microalgae, *Chlorella*, functional foods, protein, essential amino acids.

Все більше людей приділяють увагу продуктам, які приносять користь здоров'ю, забезпечують та підтримують життєві процеси організму на високому рівні при різноманітних умовах існування, дають змогу людині тривалий час зберігати активність протягом життя. Велике значення в цьому сенсі мають продукти функціонального призначення, які необхідно включати регулярно до звичайного раціону харчування. У такому контексті цілком природним є підвищення обізнаності споживачів щодо користі продуктів на основі водоростей для здоров'я.

Зростання попиту на продукти здорового харчування пов'язане із збільшенням населення світу, яке через об'єктивні обставини не отримує в достатній кількості якісний енергетичний та пластичний матеріал – білки, жири, в тому числі поліненасичені жирні кислоти, складні вуглеводи, вітаміни та вітаміноподібні речовини, мінерали тощо. Недоїдання та незбалансоване харчування може призвести до дефіциту калорій (голод), надлишку калорій (надмірна вага/ожиріння), дефіциту мікроелементів (прихований голод). Нещодавнє дослідження [1] показало, що 120 країн світу відчувають дефіцит внутрішнього виробництва продуктів харчування та/або поживних речовин для забезпечення власного населення. Голод загрожує більш ніж кожній десятій людині, і майже дві третини населення світу можуть зіткнутися з прихованим голодом, що означає недостатнє споживання макро- та мікроелементів. Це може спричинити різні захворювання людини [1].

Російська агресія в Україні та конфлікти в інших країнах світу, зростання техногенного навантаження на навколишнє природне середовище, зміна клімату спричинили масштабне погіршення продовольчої безпеки. [2, 3]. Ця проблема виникла в тому числі внаслідок застосування систем вирощування великої рогатої худоби, які негативно впливають на навколишнє середовище; використання великих площ орних земель для вирощування рослинних продуктів; неконтрольованого використання прісних

водних ресурсів тощо [4]. Оскільки природні ресурси є обмеженими, існує потреба у плануванні їх ефективного використання. Це актуалізує необхідність пошуку більш стійких альтернативних джерел продовольства нетваринного походження.

Мікроводорості – це різноманітна група фотосинтезуючих одноклітинних автотрофних організмів. За останні кілька десятиліть понад 40 000 видів еукаріотичних мікроводоростей було досліджено на предмет їх потенціалу як альтернативних джерел кормів для тварин, харчових добавок, нутрицевтиків та фармацевтичних препаратів [5, 6]. Мікроводорості були запропоновані як перспективна сировина для виробництва біодизельного палива, оскільки глобальні запаси викопного палива виснажуються [7, 8]. Відкриття природних антиоксидантів у мікроводоростях спонукало нутрицевтичну промисловість використовувати метаболіти, отримані з мікроводоростей, як заміну синтетичним антиоксидантам [9, 10]. Виробництво продуктів харчування значною мірою залежить від ґрунтових ресурсів, тому їх деградація є однією з головних проблем майбутнього [11]. В XXI столітті розвиток сектору мікроводоростей прискорився завдяки використанню цієї біомаси в раціоні харчування людей.

Біомаса мікроводоростей складається з білків, ліпідів, вуглеводів та пігментів, що використовуються в різних галузях промисловості, починаючи від виробництва біодизеля і закінчуючи продуктами здорового харчування (рис. 1).



Рис. 1. Сфери застосування мікроводоростей

Здатність мікроводоростей ефективно використовувати сонячну енергію, атмосферний вуглекислий газ та доступні поживні речовини, швидкі темпи росту, адаптивність до стресів навколишнього середовища та синтез значної кількості біохімічних сполук в процесі своєї життєдіяльності свідчать про великий потенціал для численних застосувань в таких сферах, як виробництво харчових продуктів, дієтичних добавок, косметики, біопалива, очищення стічних вод, годівля тварин, добрива – і цей перелік постійно розширюється.

Chlorella vulgaris – зелена одноклітинна мікроводорість сферичної або овальної форми, діаметром від 2 до 8 мкм, яка покрита міцною зовнішньою клітинною стінкою, що захищає внутрішні органи від змін навколишнього середовища ззовні. Вважається, що *Chlorella* існує на Землі понад 2 мільярди років, вона стояла біля витоків харчового ланцюга і є живим організмом, який описується як "джерело життя".

В цьому аспекті використання мікроводорості *Chlorella* розглядаються, як нове джерело білка та біологічно активних речовин для збагачення харчових продуктів.

Мікроводорості були частиною людського раціону протягом багатьох століть. Наприклад, *Nostoc* використовувався в Азії більше 2000 років тому; *Spirulina* була у раціоні деяких племен Африки, корінного населення Мексики та інших народів [12]. Пізніше комерційні форми мікроводоростей (*Chlorella* sp. і *Spirulina* sp.) здобула популярність як здорова їжа у Мексиці, в Японії та на Тайвані. Наразі вирощування та виробництво мікроводоростей, в основному, зосереджено у Східній та Південно-Східній Азії. Понад 70 компаній в світі займаються вирощуванням *Chlorella*, а найбільшим виробником є Taiwan Chlorella Manufacturing and Co. (Тайбей, Тайвань), яка виробляє 400 тон висушеної біомаси на рік [13]. В Україні виробництво мікроводорості *Chlorella* освоїли такі підприємства, як ТОВ «Хлорелла Україна» (м. Біла Церква) та ФГ «У Самвела» (Одеська область).

Мікроводорості синтезують комплекс важливих для організму людини нутрієнтів. Основні біологічно активні компоненти мікроводорості *Chlorella vulgaris* – це білки, ліпіди, вуглеводи, пігменти, мінерали та вітаміни [8, 14].

Білки та пептиди є однією з основних груп харчових компонентів, які суттєво впливають на функціональну та біологічну активність продукту [15].

Пептиди – це специфічні білкові фрагменти, яким приписують антиоксидантні, антигіпертензивні, імуномодулюючі, антиканцерогенні, гепатопротекторні та антикоагулянтні властивості [16].

Нуклеотидно-пептидний комплекс міститься в ядрі клітини і має назву C.G.F (Chlorella Growth Factor – фактор росту *Chlorella*). Це водорозчинний екстракт, що складається з таких речовин як незамінні амінокислоти, пептиди, білки, вітаміни, цукри та нуклеїнові кислоти [17].

Білки є основними складовими більшості мікроводоростей з вмістом 50–70% залежно від виду [18]. *Chlorella vulgaris* має загальний вміст білка 43–58% від сухої маси залежно від умов культивування [8]. Білок є одним із ключових компонентів, що визначає біологічну цінність продукту. Біологічна цінність білків пов'язана з вмістом незамінних і замінних амінокислот. У таблиці 1 показано порівняння амінокислотного профілю *Chlorella vulgaris* з еталоном білка, рекомендованим Всесвітньою організацією охорони здоров'я (ВООЗ) та Продовольчою та сільськогосподарською організацією ООН (ФАО) [19-22].

В таблиці наведено якісний та кількісний склад незамінних та замінних амінокислот *Chlorella* за результатами досліджень різних вчених. Зокрема, з таблиці видно, що загальний вміст незамінних кислот еталону білка нижчий порівняно з *Chlorella vulgaris*. Беккер [21] стверджує, що склад амінокислот мікроводоростей (лізин, метіонін, триптофан, треонін, валін, гістидин та ізолейцин) можна порівняти зі складом курячого яйця або соєвих бобів. Білки мікроводоростей можуть краще засвоюватися порівняно з бобами, пшеницею або вівсом [23].

Якість та кількість білків у сировинних компонентах впливають на властивості емульгування, гелеутворення, в'язкості та текстурування харчових продуктів.

Ліпідна фракція мікроводоростей викликає інтерес завдяки своєму жирнокислотному складу, що включає поліненасичені жирні кислоти (ω -3, ω -6). Докозагексаєнова кислота (ДГК) і ейкозапентаєнова кислота (ЕПК) – це біологічно активні сполуки з різноманітними перевагами для здоров'я людини стосовно зниження

ризикі серцевих захворювань, високого кров'яного тиску, аритмії та інсульту, профілактика астми, ревматоїдного артриту та депресії [24]. ДГК і ЕПК мають протизапальні властивості і є важливими сполуками для розвитку мозку переважно на перших етапах розвитку дітей [25], також для покращення психічного стану здоров'я [26].

Каротиноїди, які містяться в *Chlorella* (астаксантин, лютеїн, β -каротин, лікопін кантаксантин) – це природні пігменти, які мають протизапальну, антиоксидантну, протиракову дію, запобігають ожирінню, а також як профілактика очних та серцевих захворювань [27].

Таблиця 1

**Амінокислотний профіль *Chlorella vulgaris*
у порівнянні з еталоном білка за ФАО/ВООЗ (г/100 г сухої речовини)**

Амінокислоти	Chlorella vulgaris				Еталон білка
	Джерело: Maruyama та ін.(1997)[19]	Джерело: Safiet та ін. (2013) [20]	Джерело: Becker (2007) [21]	Джерело: Morris Quevedo та ін.(1999)[22]	ФАО/ВООЗ г/100 г білка (2011)
НЕЗАМІННІ АМІНОКИСЛОТИ					
Isoleucine	4,44	4,82	3,8	0,09	3,0
Leucine	9,38	10,78	8,8	6,91	6,1
Methionine	1,24	1,55	2,2	0,60	2,3
Phenylalanine	5,51	6,02	5,0	5,36	4,1
Threonine	5,15	5,60	4,8	5,62	2,5
Lysine	6,68	7,70	8,4	6,30	4,8
Valine	6,61	7,86	5,5	2,85	4,0
Tryptophan	2,30	2,04	2,1	1,1	1,0
Всього	41,31	46,37	40,60	28,83	27,80
ЗАМІННІ АМІНОКИСЛОТИ					
Tyrosine	3,14	3,02	3,4	7,78	-
Arginine	6,22	7,97	6,4	6,81	-
Histidine	1,97	2,40	2,0	1,16	-
Alanine	8,33	7,18	7,9	10,05	-
Aspartic acid	9,80	10,39	9,0	10,09	-
Glutamic acid	12,66	11,6	11,6	8,37	-
Glycine	6,07	5,05	5,8	7,93	-
Proline	4,90	3,88	4,8	2,74	-
Serine	4,32	7,17	4,1	3,50	-
Cysteine	1,28	0,18	1,4	0,50	-
Ornithine	-	0,12	-	-	-

Хлорофіл є найпоширенішим пігментом у природі, який надає рослинам і мікроводоростям зеленого кольору. Разом з вуглекислим газом і водою хлорофіл відіграє важливу роль у процесі фотосинтезу, що забезпечує отримання хімічної енергії з сонячного світла, виробляючи такі необхідні сполуки, як кисень і вуглеводи. Хлорофіл має антиоксидантні та антимуtagenні властивості на додаток до функцій забарвлення [28], що дозволяє застосовувати його в нутрицевтиці, для виготовлення функціональних продуктів харчування та косметичних засобів. *Chlorella* синтезує хлорофілу а і b, який впливає на збільшення кількості червоних кров'яних тілець людини та відіграє важливу роль у профілактиці раку [29].

Chlorella може продукувати біотину (вітамін B₇) та вітамін B₁₂ [30] у високій концентрації. Це є особливо важливим для розробки нових продуктів вегетаріанського напрямлення.

Мінерали відіграють ключову роль у фізіологічних процесах організму людини а їх дефіцит може призвести до порушень цих процесів та захворювань. Наприклад, калій (K) і натрій (Na) необхідні для підтримання водно-сольового балансу; магній (Mg) необхідний для синтезу білка, нервової передачі і м'язового скорочення; сірка (S) важлива для вироблення ферментів, які залежать від таких мінералів, як залізо (Fe), цинк (Zn), мідь (Cu), марганець (Mn) і молібден (Mo), для адекватної каталітичної дії [31]. Селен (Se) необхідний для багатьох водоростей і виконує функцію захисту від окислювального пошкодження. Селен є важливим мікроелементом, добова норма для дорослих становить 40 мкг [32].

Chlorella vulgaris належить до мікроводоростей зі статусом GRAS, тобто загально визнана безпечною відповідно до вимог Управління США з контролю за якістю харчових продуктів і медикаментів (FDA – Food and Drug Administration). Європейська Комісія (ЕК) разом з Європейським агентством з безпеки харчових продуктів (EFSA – European Food Safety Authority) контролюють виробництво та комерціалізацію харчових продуктів і кормів в Європейському Союзі (ЄС). В країнах ЄС вся біомаса *Chlorella* може використовуватись в технології харчових продуктах без обмежень.

В Японії, Китаї, Франції, США, Індонезії та інших країнах мікроводорість *Chlorella* споживають як «зелену їжу». В інших регіонах світу мікроводорості входять до раціону людей, які слідкують за своїм здоров'ям, у вигляді харчової добавки [33]. Наразі більшість комерційних продуктів з мікроводоростей є доступними на ринках країн світу як здорове харчування у вигляді порошків, таблеток, капсул, пластин, гранул, рідин тощо.

Таким чином, *Chlorella* як суперфуд, можна використовувати для збагачення традиційних харчових продуктів з лікувально-профілактичною та оздоровчою метою.

Сьогодні на світовому ринку є ряд харчових продуктів, де мікроводорості використовуються в технології приготування печива, бисквітних виробів, морозива, плавлених сирів, йогуртів [34], цукерок, жувальних гумок, снєків, пасти, локшини, сухих сніданків та напоїв тощо [35]. Мікроводорості також додавали до м'ясних продуктів, таких як ковбаси [36], гамбургери [37], паштет із свинячої печінки, котлети з індички, варена грудка індички, свіжі свинячі ковбаски та маринована грудка індички [38], котлети з яловичини [39].

Не є занадто багато інформації щодо використання *Chlorella* в технології приготування харчових продуктів в Україні. Так, ФГ «У Самвела» у власних ресторанах використовує *Chlorella* в кулінарії (випічка хліба), приготуванні м'яса, птиці, риби, супів та інших страв» [40]. Є відомості щодо виготовлення оригінального продукту – зеленого меду, в основі якого крем-мед з квіткового різнотрав'я та суспензії мікроводорості *Chlorella* [41]. Мікроводорість використали в технології приготування майонезів та соусів [42] хлібів м'ясних [43], паштетів [44, 45], напівфабрикатів м'ясних [46, 47]. Ми продовжуємо досліджувати попит, інформувати споживачів та працювати над розробкою нових видів продуктів з використанням мікроводоростей.

Висновки. Враховуючи біохімічний склад, поживні, функціональні та технологічні характеристики, а також екологічні переваги виробництва, біомаса мікроводоростей *Chlorella* є перспективним джерелом сировини для збагачення основних продуктів харчування есенціальними компонентами.

Включення мікроводоростей до складу традиційних харчових продуктів, що традиційно широко споживаються населенням, дозволяє збільшити споживання нутрієнтів і покращити здоров'я населення, оскільки не потребує зміни харчових звичок і, таким чином, може охопити більшу кількість людей.

Виробництво харчових продуктів з використанням мікроводоростей сприяє глобальній продовольчій безпеці та може зменшити негативний вплив на навколишнє природне середовище.

Бібліографія

1. UN Press. 2022. Conflict, Humanitarian Crisis in Ukraine Threatening Future Global Food Security as Prices Rise, Production Capacity Shrinks, Speakers Warn Security Council. Cited 30 September 2022. <https://press.un.org/en/2022/sc14846.doc.htm>.
2. FAO. 2022. World Food Situation. <https://www.fao.org/worldfoodsituation/foodpricesindex/en/>. Visited 3 November 2023.
3. Geyik O., Hadjikakou M., Bryan B. A. Spatiotemporal trends in adequacy of dietary nutrient production and food sources. *Global Food Security*. 2020. № 24. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100355>.
4. Fu Y., Chen T., Chen S. H. Y., Liu B., Sun P., Sun H., Chen F. The potentials and challenges of using microalgae as an ingredient to produce meat analogues. *Trends in Food Science Technology*. 2021. № 112. P. 188–200. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.050>.
5. Chu W. Biotechnological applications of microalgae. *International e-Journal of Science Medicine and Education*. 2012. № 6. P. 2.
6. Tomaselli L. The microalgal cell. In A. Richmond (Ed.), *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd. 2004.
7. Mata T. M., Martins A. A., Caetano N. S. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2010. № 14. P. 217–232.
8. Safi C., Zebib B., Merah O., Pontalier P. Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2014. № 35. P. 265–278. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.007>.
9. Azaman S. N. A., Nagao N., Yusoff F. M., Tan S. W., Yeap S. K. A comparison of the morphological and biochemical characteristics of *Chlorella sorokiniana* and *Chlorella zofingiensis* cultured under photoautotrophic and mixotrophic conditions. *Peer Journal*. 2017. № 5, P. 3473–3476.
10. Spolaore P., Joannis-Cassan C., Duran E., Isambert A. Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*. 2006. № 101. P. 87–96.
11. Scherer L., Svenning J. C., Huang J., Rueda O., Bodegom P. M. Global priorities of environmental issues to combat food insecurity and biodiversity loss. *Science Total Environ*. 2020. №. 30. P. 139096. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.139096>.
12. Chacón-Lee T. L.; González-Mariño G. E. Microalgae for "Healthy" Foods – Possibilities and Challenges. *Comp Rev Food Sci Food Safety*. 2010. № 9(6). P. 655–675. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00132.x>.
13. Sathasivam R., Radhakrishnan R., Hashem A., Abd Allah E. F. Microalgae metabolites: A rich source for food and medicine. *Saudi Journal of Biological Sciences*. 2017. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.11.003>.
14. Ru I. T. K., Sung Y. Y., Jusoh M., Wahid M. E. A., Nagappan T. *Chlorella vulgaris*: a perspective on its potential for combining high biomass with high value bioproducts. *Appl. Phycol*. 2020. № 1(1). P. 2–11. <https://doi.org/10.1080/26388081.2020.1715256>.
15. Carrasco-Castilla J., Hernández-Alvarez A. J., Jiménez-Martínez C., Gutiérrez-López G. F., Dávila-Ortiz G. Use of proteomics and peptidomics methods in food bioactive peptide science and engineering. *Food Eng Rev*. 2012. № 4. P. 224–243. <https://doi.org/10.1007/s12393-012-9058-8>.
16. Caporgno M. P., Mathys A. Trends in microalgae incorporation into innovative food products with potential health benefits. *Frontiers in Nutrition*. 2018. № 5. P. 58. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00058/>.
17. Ferreira A., Guerra I., Costa M., Silva J., Gouveia L. Future perspectives of microalgae in the food industry. *Cultured Microalgae for the Food Industry*. 2021. P. 387–433. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821080-2.00008-3>.
18. Jacob-Lopes E., Ramírez Mérida L. G., Queiroz M. I., Zepka L. Q. Microalgal biorefineries. In E. Jacob-Lopes, L. Q. Zepka (Eds.), *Biomass production and uses*. London: IntechOpen. 2015.

19. Maruyama I., Nakao T., Shigeno I., Ando Y., Hirayama K. Application of unicellular algae *Chlorella vulgaris* for the mass-culture of marine rotifer *Brachionus*. *Hydrobiologia*. 1997. № 358, P. 133–138.
20. Safi C., Charton M., Pignolet O., Silvestre F., Vaca-Garcia C., Pontalier P.-Y. Influence of microalgae cellwall characteristics on protein extractability and determination of nitrogen-to-protein conversion factors. *Journal of Applied Phycology*. 2013. № 25. P. 523–529.
21. Becker E. W. Microalgae as a source of protein. *Biotechnology Advances*. 2007. № 25. P. 107–210.
22. Morris Quevedo H. J., Quintana Cabrales M. M., Almarales Arceo A., Hernandez Nazario L. Composicion bioquimica y evaluacion de la calidad proteica de la bio-masa de *Chlorella vulgaris*. *Review Cubana Aliment Nutrition*. 1999. № 13. P. 123–128.
23. Levasseur W., Perr'e P., Pozzobon V. A review of high value-added molecules production by microalgae in light of the classification. *Biotechnology Advances*, 41. 2020. Article 107545. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2020.107545>.
24. Adarme-Vega T. C., Lim D. K. Y., Timmins M., Vernen F., Li Y., Schenk P. M. Microalgal biofactories: a promising approach towards sustainable omega-3 fatty acid production. *Microbial Cell Factories*. 2012. № 11(1). P. 1–10. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-11-96>.
25. Yeiser M., Harris C. L., Kirchoff A. L., Patterson A. C., Wampler J. L., Zissman E. N., Berseth C. L. Growth and tolerance of infants fed formula with a new algal source of docosahexaenoic acid: Double-blind, randomized, controlled trial. *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acid*, 2016. № 115. P. 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2016.09.001>.
26. Charles C. N., Msagati T., Swai H., Chacha M. Microalgae: An alternative natural source of bioavailable omega-3 DHA for promotion of mental health in East Africa. *Scientific African*. 2019. № 6. Article e00187. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00187>.
27. Cezare-Gomes E. A., Mejia-da-Silva L., del C., Pérez-Mora L. S., Matsudo M. C., Ferreira-Camargo L. S., Singh A. K., Carvalho J. C. M. Potential of microalgae carotenoids for industrial application. *Applied Biochemistry and Biotechnology*. 2019. № 188 (3). P. 602–634. <https://doi.org/10.1007/s12010-018-02945-4>.
28. Hosikian A., Lim S., Halim R., Danquah M. K. Chlorophyll extraction from microalgae: a review on the process engineering aspects. *International Journal of Chemical Engineering*. 2010. Article 391632. <https://doi.org/10.1155/2010/391632>.
29. Morcelli A., Cassel E., Vargas R., Rech R., Marcílio N. Supercritical fluid (CO₂+ethanol) extraction of chlorophylls and carotenoids from *Chlorella sorokiniana*: COSMO-SAC assisted prediction of properties and experimental approach. *Journal of CO₂ Utilization* 2021. № 51. P. 101649. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2021.101649/>.
30. Koyande A. K., Chew K. W., Rambabu K., Tao Y., Chu D., Show P. Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. *Food Science and Human Wellness*. 2019. № 8 (1). P. 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.03.001>.
31. Gharibzahedi S. M. T., Jafari S. M. The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. *Trends in Food Science Technology*. 2017. № 62. P. 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.017>.
32. Ferreira de Oliveira A. P., Bragotto A. P. Microalgae-based products: Food and public health. *Future Foods*. 2022. № 6. P. 100157. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100157>.
33. Boukid F., Castellari M. Food and beverages containing algae and derived ingredients launched in the market from 2015 to 2019: a front-of-pack labeling perspective with a special focus on Spain. *Foods*. 2021. № 10. P. 1. <https://doi.org/10.3390/foods10010173>.
34. Koyande A. K., Chew K. W., Rambabu K., Tao Y., Chu D.T., Show P. L. Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. *Food Sci Hum Wellness*. 2019. № 8. P. 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.03.001>.
35. S. Liang X., Liu F., Chen Z., Chen F. Current microalgal health food R Dactivities in China, in: P.O. Ang (Ed.), *Asian Pacific Phycol. 21st Century: Prospects and Challenges*, Springer, Netherlands, Dordrecht. 2004. P. 45–48. <https://doi.org/10.1023/b:hydr.0000020366.65760.98>.
36. Marti-Quijal F. J., Zamuz S., Tomašević I., Gómez B., Rocchetti G., Lucini L., Remize F., Barba F. J., Lorenzo J. M. Influence of different sources of vegetable, whey and microalgae proteins on the physicochemical properties and amino acid profile of fresh pork sausages. *LWT – Food Sci Technol*. 2019. № 110. P. 316–323. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.097>.

37. Marti-Quijal F. J., Zamuz S., Tomašević I., Rocchetti G., Lucini L., Marszałek K., Barba F. J., Lorenzo J. M. A chemometric approach to evaluate the impact of pulses, Chlorella and Spirulina on proximate composition, amino acid, and physicochemical properties of turkey burgers. *J Sci Food Agric*, 2019. № 99. P. 3672–3680. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9595>.
38. Zamuz S, Purriños L, Galvez F, Zdolec N, Muchenje V, Barba F. J., Lorenzo J. M. Influence of the addition of different origin sources of protein on meat products sensory acceptance. *J Food Process Preserv.* 2019. № 43. P. 1–12. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13940>.
39. Zugcic T., Abdelkebir R., Barba F. J., Rezek-Jambrak A, Gálvez F, Zamuz S, Granato D, Lorenzo J. M. Effects of pulses and microalgal proteins on quality traits of beef patties. *J Food Sci Technol.* 2018. № 55. P. 4544–4553. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3390-9>.
40. Шарило Ю. Є., Деренько О. О., Дюдяєва О. А. Використання водоростей виду Chlorophyta як біологічний метод очищення водойм. Водні біоресурси та аквакультура. 2020. № 1. С. 88–102. <https://doi.org/10.32851/wba.2020.1.8>.
41. Зелёный мёд с водорослями сделали в Украине. <https://crispy.news/2020/10/29/business/zeljonyj-mjods-vodorosljami-sdelali-v-ukraine/> (дата звернення: 09.04.2021).
42. Bakhmach V. A., Peshuk L V., Chernushenko E. A., Savchenko A. M., Petrenko S. A. Use of innovative technologies and components in the manufacture of emulsion products. *Visnyk Natsionalnoho Tekhnichnoho Universytetu «ХП»*. 2022. № 1. P. 18–22, <https://doi.org/10.20998/2220-4784.2022.01.03>.
43. Peshuk L., Simonova I., Shtyk I. Modern trend – health products with microalgae. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies.* 2022. №. 24 (97). P. 52–59. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9709>.
44. Kozhemiaka O. V., Peshuk L. V. Chlorella as a biologically active component in the technology of health and wellness products. *Journal of Chemistry and Technologies.* 2023. № 2 (31). P. 230–239. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v31i2.275148>.
45. Кожемяка О. В., Пешук Л. В., Петренко С. О. Застосування системи НАССР при виробництві м'ясних продуктів з мікроводоростю Chlorella. Вісник Національного технічного університету «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Харків: НТУ «ХП». 2023. № 2 (16). С. 48–53. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2023.02.07>.
46. Пешук Л., Новікова Н., Приходько Д. Водорості як «суперфуд» у технологіях м'ясних продуктів здорового харчування. Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки. № 1. 2023. С. 96–103. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2023.1.10>.
47. Пешук Л., Сімонова І., Приходько Д. Огляд стратегій розвитку та особливостей виробництва інноваційних продуктів з водоростей. Вісник Національного технічного університету «ХП». Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. Харків: НТУ «ХП». 2023. №2(16). С. 86–91. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2023.02.12>.

References

1. UN Press. 2022. Conflict, Humanitarian Crisis in Ukraine Threatening Future Global Food Security as Prices Rise, Production Capacity Shrinks, Speakers Warn Security Council. Cited 30 September 2022. <https://press.un.org/en/2022/sc14846.doc.htm>.
2. FAO. 2022. World Food Situation. <https://www.fao.org/worldfoodsituation/foodpricesindex/en/>. Visited 3 November 2023.
3. Geyik, O., Hadjikakou, M., Bryan, B. A. (2020). Spatiotemporal trends in adequacy of dietary nutrient production and food sources. *Global Food Security*, 24. <https://doi.org/10.1016/j.gfs.2020.100355>.
4. Fu, Y., Chen, T., Chen, S. H. Y., Liu, B., Sun, P., Sun, H., Chen, F. (2021). The potentials and challenges of using microalgae as an ingredient to produce meat analogues. *Trends in Food Science and Technology*, 112, 188–200. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.050>.
5. Chu, W. (2012). Biotechnological applications of microalgae. *International e-Journal of Science Medicine and Education*, 6, 2.
6. Tomaselli, L. (2004). The microalgal cell. In A. Richmond (Ed.), *Handbook of Microalgal Culture: Biotechnology and Applied Phycology*. Oxford, UK: Blackwell Science Ltd.
7. Mata, T. M., Martins, A. A., Caetano, N. S. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 217–232.

8. Safi, C., Zebib, B., Merah, O., Pontalier, P. (2014). Morphology, composition, production, processing and applications of *Chlorella vulgaris*: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 35, 265–278. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.007>.
9. Azaman, S. N. A., Nagao, N., Yusoff, F. M., Tan, S. W., Yeap, S. K. (2017). A comparison of the morphological and biochemical characteristics of *Chlorella sorokiniana* and *Chlorella zofingiensis* cultured under photoautotrophic and mixotrophic conditions. *Peer Journal*, 5, 3473–3476.
10. Spolaore, P., Joannis-Cassan, C., Duran, E., Isambert, A. (2006). Commercial applications of microalgae. *Journal of Bioscience and Bioengineering*, 101, 87–96.
11. Scherer, L., Svenning, J. C., Huang, J., Rueda, O., Bodegom, P.M., 2020. Global priorities of environmental issues to combat food insecurity and biodiversity loss. *Science Total Environ.* 730, 139096. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.139096>.
12. Chacón-Lee T. L., González-Mariño G. E. (2010). Microalgae for “Healthy” Foods – Possibilities and Challenges. *Comp Rev Food Sci Food Safety*, 9(6), 655–675. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2010.00132.x>.
13. Sathasivam, R., Radhakrishnan, R., Hashem, A., Abd_Allah, E. F. (2017). Microalgae metabolites: A rich source for food and medicine. *Saudi Journal of Biological Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2017.11.003>.
14. Ru, I. T. K., Sung, Y. Y., Jusoh, M., Wahid, M. E. A., Nagappan, T. (2020). *Chlorella vulgaris*: a perspective on its potential for combining high biomass with high value bioproducts. *Appl. Phycol.* 1(1), 2–11. <https://doi.org/10.1080/26388081.2020.1715256>.
15. Carrasco-Castilla J, Hernández-Alvarez AJ, Jiménez-Martínez C, GutiérrezLópez GF, Dávila-Ortiz G. (2012). Use of proteomics and peptidomics methods in food bioactive peptide science and engineering. *Food Eng Rev.* 4:224–43. <https://doi.org/10.1007/s12393-012-9058-8>.
16. Caporgno, Martín P.; Mathys, Alexander (2018). Trends in microalgae incorporation into innovative food products with potential health benefits. *Frontiers in Nutrition*, 5, 58–. <https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00058/>.
17. Ferreira, A., Guerra, I., Costa, M., Silva, J., Gouveia, L. (2021). Future perspectives of microalgae in the food industry. *Cultured Microalgae for the Food Industry*, 387–433. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-821080-2.00008-3>.
18. Jacob-Lopes, E., Ramírez Mérida, L. G., Queiroz, M. I., Zepka, L. Q. (2015). Microalgal biorefineries. In E. JacobLopes L. Q. Zepka (Eds.), *Biomass production and uses*. London: IntechOpen.
19. Maruyama, I., Nakao, T., Shigeno, I., Ando, Y., Hirayama, K. (1997). Application of unicellular algae *Chlorella vulgaris* for the mass-culture of marine rotifer. *Brachionus*. *Hydrobiologia*, 358, 133–138.
20. Safi, C., Charton, M., Pignolet, O., Silvestre, F., Vaca-Garcia, C., Pontalier, P.-Y. (2013). Influence of microalgae cell wall characteristics on protein extractability and determination of nitrogen-to-protein conversion factors. *Journal of Applied Phycology*, 25, 523–529.
21. Becker, E. W. (2007). Microalgae as a source of protein. *Biotechnology Advances*, 25, 107–210.
22. Morris Quevedo, H. J., Quintana Cabrales, M. M., Almarales Arceo, A., Hernandez Nazario, L. (1999). Composicion bioquímica y evaluación de la calidad proteica de la bio-masa de *Chlorella vulgaris*. *Review Cubana Aliment Nutrition*, 13, 123–128.
23. Levasseur, W., Perré, P., Pozzobon, V. (2020). A review of high value-added molecules production by microalgae in light of the classification. *Biotechnology Advances*, 41. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2020.107545>. Article 107545.
24. Adarme-Vega, T. C., Lim, D. K. Y., Timmins, M., Vernen, F., Li, Y., Schenk, P. M. (2012). Microalgal biofactories: a promising approach towards sustainable omega-3 fatty acid production. *Microbial Cell Factories*, 11(1), 1–10. <https://doi.org/10.1186/1475-2859-11-96>.
25. Yeiser, M., Harris, C. L., Kirchoff, A. L., Patterson, A. C., Wampler, J. L., Zissman, E. N., Berseth, C. L. (2016). Growth and tolerance of infants fed formula with a new algal source of docosahexaenoic acid: Double-blind, randomized, controlled trial. *Prostaglandins Leukotrienes and Essential Fatty Acids*, 115, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.plefa.2016.09.001>.
26. Charles, C. N., Msagati, T., Swai, H., Chacha, M. (2019). Microalgae: An alternative natural source of bioavailable omega-3 DHA for promotion of mental health in East Africa. *Scientific African*, 6. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2019.e00187>. Article e00187.

27. Cezare-Gomes, E. A., Mejia-da-Silva, L., del, C., P´erez-Mora, L. S., Matsudo, M. C., Ferreira-Camargo, L. S., Singh, A. K., Carvalho, J. C. M. (2019). Potential of microalgae carotenoids for industrial application. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 188 (3), 602–634. <https://doi.org/10.1007/s12010-018-02945-4>.
28. Hosikian, A., Lim, S., Halim, R., Danquah, M. K. (2010). Chlorophyll extraction from microalgae: a review on the process engineering aspects. *International Journal of Chemical Engineering*, 2010. <https://doi.org/10.1155/2010/391632>. Article 391632.
29. Morcelli, A., Cassel, E., Vargas, R., Rech, R., Marcílio, N. (2021). Supercritical fluid (CO₂+ethanol) extraction of chlorophylls and carotenoids from *Chlorella sorokiniana*: COSMO-SAC assisted prediction of properties and experimental approach. *Journal of CO2 Utilization*, 51, 101649. <https://doi.org/10.1016/j.jcou.2021.101649/>.
30. Koyande, A. K., Chew, K. W., Rambabu, K., Tao, Y., Chu, D., Show, P. (2019). Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. *Food Science and Human Wellness*, 8 (1), 16–24. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.03.001>.
31. Gharibzahedi, S. M. T., Jafari, S. M. (2017). The importance of minerals in human nutrition: Bioavailability, food fortification, processing effects and nanoencapsulation. *Trends in Food Science Technology*, 62, 119–132. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.02.017>.
32. Ferreira de Oliveira, A. P., Bragotto, A. P. (2022). Microalgae-based products: Food and public health. *Future Foods* 6 (2022) 100157, <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100157>.
33. Boukid, F., Castellari, M., 2021. Food and beverages containing algae and derived ingredients launched in the market from 2015 to 2019: a front-of-pack labeling perspective with a special focus on Spain. *Foods* 10, 1. <https://doi.org/10.3390/foods10010173>.
34. Koyande, A. K., Chew, K.W., Rambabu, K., Tao, Y., Chu, D. T., Show, P. L. (2019). Microalgae: A potential alternative to health supplementation for humans. *Food Sci Hum Wellness*, 8:16–24. <https://doi.org/10.1016/j.fshw.2019.03.001>.
35. S. Liang, X. Liu, F. Chen, Z. Chen, Current microalgal health food R&D activities in China. in: P.O. Ang (Ed.), *Asian Pacific Phycol. 21st Century: Prospects and Challenges*, Springer, Netherlands, Dordrecht, 2004, pp. 45–48. <https://doi.org/10.1023/b:hydr.0000020366.65760.98>.
36. Marti-Quijal, F. J., Zamuz, S., Tomašević, I., Gómez, B., Rocchetti, G., Lucini, L., Remize, F., Barba, F.J., Lorenzo, J.M. (2019). Influence of different sources of vegetable, whey and microalgae proteins on the physicochemical properties and amino acid profile of fresh pork sausages. *LWT – Food Sci Technol*, 110:316–323. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.04.097>.
37. Marti-Quijal, F.J., Zamuz, S., Tomašević, I., Rocchetti, G., Lucini, L., Marszałek, K., Barba, F.J., Lorenzo, J.M. (2019). A chemometric approach to evaluate the impact of pulses, *Chlorella* and *Spirulina* on proximate composition, amino acid, and physicochemical properties of turkey burgers. *J Sci Food Agric*, 99:3672–3680. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9595>.
38. Zamuz, S., Purriños, L., Galvez, F., Zdolec, N., Muchenje, V., Barba, F. J., Lorenzo, J. M. (2019). Influence of the addition of different origin sources of protein on meat products sensory acceptance. *J Food Process Preserv*, 43:1–12. <https://doi.org/10.1111/jfpp.13940>.
39. Zugic, T., Abdelkebir, R., Barba, F. J., Rezek-Jambrak, A., Gálvez, F., Zamuz, S., Granato, D., Lorenzo, J. M. (2018). Effects of pulses and microalgal proteins on quality traits of beef patties. *J Food Sci Technol*, 55:4544–4553. <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3390-9>.
40. Sharylo, Yu. Ye., Derenko, O. O., Diudiaieva, O. A. (2020). Vykorystannia vodorostei vydu Chlorophyta yak biolohichnyi metod ochyshchennia vodoim [Using algae of the Chlorophyta species as a biological method for cleaning water bodies] *Vodni bioresursy ta akvakultura*, 1, 88–102. <https://doi.org/10.32851/wba.2020.1.8> [in Ukrainian].
41. Zelionyi miód s vodorosljami sdělali v Ukraine [Green honey with algae made in Ukraine]: <https://crispy.news/2020/10/29/business/zelionyi-mjod-s-vodorosljami-sdelali-v-ukraine/> (accessed: 09.04.2021) [in russian].
42. Bakhmach, V. A., Peshuk, L. V., Chernushenko, E. A., Savchenko, A. M., Petrenko, S. A. (2022). Vykorystannia innovatsiinykh tekhnolohii ta komponentiv u vyrobnytstvi emulsiinykh produktiv [Use of innovative technologies and components in the manufacture of emulsion products]. *Visnyk Natsionalnoho Tekhnichnoho Universytetu «XPII»*. 1, 18–22, <https://doi.org/10.20998/2220-4784.2022.01.03> [in Ukrainian].
43. Peshuk, L., Simonova, I., Shtyk, I. (2022). Suchasnyi trend – zdorovi produkty z mikrovdorostiamy [Modern trend – health products with microalgae]. *Scientific Messenger of LNU of*

Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies, 24(97), 52–59. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9709> [in Ukrainian].

44. Kozhemiaka, O. V., Peshuk, L. V. (2023). Chlorella as a biologically active component in the technology of health and wellness products. Journal of Chemistry and Technologies. № 2 (31). P. 230–239. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v31i2.275148> [in Ukrainian].

45. Kozhemiaka, O., Peshuk, L., Petrenko S. (2023). Zastosuvannya systemy HACCP pry vyrobnytstvi miasnykh produktiv z mikrovodorostiu Chlorella [HACCP system – a safety management tool for the production of meat products using microalgae Chlorella]. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology. Kharkiv: NTU "KhPI", № 2 (16). P. 48–53 <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2023.02.07> [in Ukrainian].

46. Peshuk, L., Novikova, N., Prykhodko, D. (2023). Vodorosti yak “superfood” u tehnologiiakh miasnykh produktiv zdorovoho kharchuvannya [Algae as a "superfood" in the technology of healthy food products]. Taurida Scientific Herald. Series: Technical Sciences. № 1. P. 96–103. <https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2023.1.10> [in Ukrainian].

47. Peshuk, L., Simonova, I., Prykhodko, D. (2023). Ohliad stratehii rozvytku ta osoblyvostei vyrobnytstva innovatsiinykh produktiv z vodorostei [Overview of development strategies and production features of innovative algae products]. Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: New solutions in modern technology. Kharkiv: NTU "KhPI". № 2 (16). P. 86–91. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2023.02.12> [in Ukrainian].