

УДК 664+63]:582.26

ПОТЕНЦІАЛ ЗАСТОСУВАННЯ МІКРОВОДОРОСТЕЙ У СІЛЬСЬКОМУ ГОСПОДАРСТВІ
ТА ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЯХ*Кожемяка О. В.¹, аспірантка,**<https://orcid.org/0009-0001-4928-7001>**Пешук Л. В.², д.с.-г.н., проф., проф. кафедри харчових технологій,**<https://orcid.org/0000-0002-0967-8892>**Никитюк О. А.³, д.с.-г.н., проф., академік НААН, ректор**<https://orcid.org/0000-0002-5679-4247>**Малюга А. В.³, к.т.н., доцент кафедри загальних дисциплін та інформаційних технологій**<https://orcid.org/0009-0004-3994-0259>*¹Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ, Україна²Дніпровський національний університет імені О. Гончара, м. Дніпро, Україна³Київський аграрний університет НААН, м. Київ, Україна<https://doi.org/10.31073/foodresources2026-26-24>

Надійшла 08.06.2026. Прийнята після рецензування 24.06.2026. Опублікована 30.06.2026

Ліцензія CC BY-NC-ND 4.0

Предмет. Мікродорості, як нетрадиційна сировина в технології м'ясних продуктів та виробництві тваринних кормів, використання яких сприяє отриманню м'ясної сировини покращеної якості. **Мета.** Представити огляд використання мікродоростей як джерела поживних речовин в кормах для тварин з описом впливу на поживні, технологічні та органолептичні показники м'яса, охарактеризувати практичні аспекти включення біомаси мікродоростей до складу м'ясних продуктів та вплив на їхні технологічні та споживчі властивості. **Методи.** Дослідження проводились з використанням принципів системного підходу до наукових та фахових джерел, а також враховувались результати власних досліджень; було застосовано методи аналізу причинно-наслідкових зв'язків, методи логічного узагальнення результатів дослідження та формулювання висновків. **Результати.** Наявні технології агровиробництва негативно впливають на довкілля через використання пестицидів і хімічних добрив, спричиняючи деградацію ґрунтів, втрату біорізноманіття, забруднення повітря та погіршення якості води. Продуктивність сільського господарства знижується, що зменшує доступність харчових продуктів та ще більше посилює продовольчу нестабільність через зростання витрат на їхнє придбання. Одним з рішень цієї проблеми є збагачення тваринних кормів і харчових продуктів мікродоростями. Огляд літературних джерел дав інформацію щодо використання мікродоростей у складі продовольства, яке потребує коригування вмісту білка, використання їх у харчових технологіях. Мікродорості – це одноклітинні організми з адаптивними можливостями щодо поглинання вуглецю, вони є екологічно безпечними, сприяють енергозбереженню та синтезують корисні для здоров'я речовини. **Сфера застосування результатів.** Мікродорості можуть сприяти росту тварин та поліпшенню якості м'яса, отже, мають перспективи щодо використання у різних секторах агропромислового виробництва. Також мікродорості можуть бути безпосередньо включені як техніко-функціональні інгредієнти до низки харчових продуктів.

Ключові слова: білки, *Chlorella*, незамінні амінокислоти, харчові продукти, функціональні властивості

THE POTENTIAL FOR THE USE OF MICROALGAE IN AGRICULTURE AND FOOD TECHNOLOGY

*Olha Kozhemiaka¹, Postgraduate Student,**<https://orcid.org/0009-0001-4928-7001>**Lyudmila Peshuk², D-r of Sc., Agriculture, Professor,**Professor of the Department of Food Technologies,**<https://orcid.org/0000-0002-0967-8892>**Oleksandr Nykytiuk³, D-r of Sc., Agriculture, Professor, Rector**<https://orcid.org/0000-0002-5679-4247>**Andrii Maliuga³, PhD, Engineering,**Associate Professor of the Department of General Disciplines and Information Technologies**<https://orcid.org/0009-0004-3994-0259>*

¹Institute of Food Resources of NAAS, Kyiv, Ukraine²Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine³Kyiv Agrarian University of the National Academy of Agrarian Sciences, Kyiv, Ukraine

Subject. *Microalgae as an alternative raw material in meat processing technology and production of livestock feeds used to produce higher-quality meat. Purpose.* To present an overview of the use of microalgae as a nutrient source in animal feed, describing their impact on the nutritional, technological, and sensorial properties of meat, to characterize the practical aspects of incorporating microalgae biomass into meat products and its impact on their technological and consumer properties. **Methods.** The research was conducted using the principles of a systematic approach to scientific and professional sources, as well as the results of our own research, methods of analysing cause-and-effect relationships, logical generalization of results and formulation of conclusions. **Results.** Current agricultural production technologies negatively impact the environment due to the use of pesticides and chemical fertilizers, leading to soil degradation, biodiversity loss, air pollution, and deteriorating water quality. Agricultural productivity is declining, reducing food availability and further exacerbating food insecurity due to rising food costs. An available solution to this problem is the enrichment of animal feed and food products with microalgae. A literature review provided information on the use of microalgae in food, which requires adjustments to protein content and application in food technology. Microalgae are single-celled organisms with adaptive carbon sequestration capabilities. They are environmentally friendly, promote energy conservation, and synthesize substances beneficial to health. **Scope of results.** Microalgae can promote animal growth and improve meat quality, therefore holding potential for use in various agricultural sectors. Microalgae can also be directly incorporated as technical and functional ingredients into a range of food products.

Key words: proteins, *Chlorella*, essential amino acids, food products, functional properties

Постановка проблеми. Мета цієї роботи – виконати науковий огляд використання мікроводоростей, які використовують у харчових технологіях і кормовиробництві у якості нетрадиційного джерела поживних речовин, які сприяють росту сільськогосподарських тварин, покращують технологічні та органолептичні показники м'яса. Предметом цього матеріалу також є практичні напрямки використання біомаси мікроводоростей або виділених з них сполук у складі м'ясних продуктів, як технологічних і функціональних компонентів.

Огляд включає відомості про використання мікроводоростей у якості джерела поживних речовин для годівлі тварин. Крім того, окреслено аспекти включення біомаси мікроводоростей або отриманих із них високоякісних сполук до складу м'ясних продуктів, що призводить до змін органолептичних та технологічних властивостей. Наразі мікроводорості включають як техніко-функціональні інгредієнти до низки продуктів. Це, наприклад, напівфабрикати м'ясні та м'ясорослинні січені, напівфабрикати з м'ясом у тістовій оболонці, хлібобулочні та макаронні вироби, печиво, бісквітні та кондитерські вироби, енергетичні батончики, снеки, соки та ізотонічні напої, ковбаски, бургери, котлети, йогурти, морозиво, плавлені сири, жувальні гумки, сухі сніданки, паштети [1], соуси [2], м'ясні хліби [3] тощо.

В світі населення намагається задовольнити попит на білкові продукти шляхом використання традиційних сільськогосподарських методів, що характеризуються значними проблемами деградації ґрунтів, забруднення повітря та водойм. Негативний вплив на навколишнє середовище призводить до накопичення парникових газів та значних викидів вуглецю. Урожайність сільськогосподарських культур знижується, зменшується кількість харчових продуктів, що погіршує стан продовольчої безпеки в світі. Альтернативою традиційному веденню сільського господарства є залучення технологій з використанням одноклітинних організмів, які здатні адаптуватись до несприятливих кліматичних умов з можливістю поглинання значної частини вуглекислого газу. Мікроводорості сприяють енергозбереженню у широкому сенсі та синтезують корисні для людей і тварин антиоксиданти, пігменти, незамінні жирні кислоти, полісахариди та білок. Використання біомаси мікроводоростей у харчовій промисловості та сільському господарстві зменшує екологічне навантаження на природні ресурси.

Тривала продовольча нестабільність спричиняє недоїдання у багатьох верств споживачів через посилення дефіциту поживних речовин [4]. Населення країн, що потерпають від продовольчої нестабільності, рідше вживає продукти з високим вмістом поживних речовин [5]. Недоїдання погіршує когнітивні здібності та знижує довгострокову продуктивність [6]. За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, діти, які є вразливою групою населення, схильною до недоїдання [4], становлять майже половину всіх смертей серед дітей віком до 5 років [7]. Низька якість раціону сприяє розвитку таких хронічних захворювань, як серцево-судинні захворювання та неалкогольна жирова хвороба печінки [6]. У 2024 році у США проведено дослідження, в якому взяли участь 57 000 осіб, і результати якого було опубліковано в «Journal of the American Medical Association», виявило обернену залежність між тривалістю життя та продовольчою нестабільністю [8]. Ожиріння в поєднанні з недоїданням спричиняє суттєве зростання витрат на охорону здоров'я щороку, що, відповідно, створює значне економічне навантаження на суспільство [9]. Більша доступність поживних речовин із мікроводоростей може покращити дотримання вимог продовольчої безпеки. Мікроводорості є вдалою альтернативою у сенсі вирішення низки проблем завдяки своєму високоякісному поживному складу [1, 10].

Матеріали та методи досліджень. Мікроводорості становлять гетерогенну групу одноклітинних або багатоклітинних, прокаріотичних або еукаріотичних фотосинтезуючих організмів, які мешкають у морському та прісноводному середовищі [11]. Підвищена стійкість до стресу сприяє утворенню корисних біоактивних сполук, таких як антиоксиданти та поліфеноли, у відповідь на абіотичні стресові фактори. Ці вторинні метаболіти забезпечують захист від ушкоджень, спричинених вільними радикалами та активними формами кисню. Мікроводорості також виробляють значну масову частку повноцінних білків (до 70% залежно від виду або штаму), а також корисні полісахариди та ненасичені жирні кислоти [1], забезпечуючи харчування людини та тварин, як додаткове джерело корисних речовин. Мікроводорості містять такі макро- та мікроелементи, як залізо, кальцій, цинк, магній, молібден, вітамін групи В (значну кількість В₁₂), фолати та деякі жиророзчинні вітаміни [12]. Біомаса мікроводоростей містить біоактивні сполуки, які необхідні для підтримки імунної системи організму.

Після додавання біомаси мікроводоростей до тваринних кормів, ці сполуки задовольняють потреби в енергії та білку, необхідних для росту тварин, із задовільними показниками. Поряд із позитивним впливом на поживні, технологічні та сенсорні якості м'яса, біомаса мікроводоростей покращує перетравність корму та підвищує імунну реакцію тварин [13,14,15]. Серед широкого спектру видів мікроводоростей, що використовуються у кормах для тваринництва, *Tetraselmis* sp., *Chlorella* sp., *Spirulina* sp. (*Arthrospira platensis*), *Nannochloropsis* sp., *Schizochytrium* sp., *Phaeodactylum* sp., *Scenedesmus* sp. та *Tisochrysis lutea* [16].

Мікроводорості містять у своєму складі різноманітні технологічні та функціональні інгредієнти, які можна використовувати для заміни синтетичних добавок у м'ясних продуктах. Включення цільної біомаси мікроводоростей або окремих сполук має позитивний вплив на цілий ряд м'ясних продуктів, включаючи ковбаси, бургери, паштет зі свинячої печінки та котлети з індички, котлети з яловичини та ротті з курки [17]. При цьому дослідники здебільшого використовували *Chlorella* sp. та *Spirulina* sp.

Результати та обговорення. Мікроводорості додають у тваринні корми переважно як цільну біомасу мікроводоростей у вигляді сухого порошку, екструдовану біомасу з високим вмістом вологи або екстракти мікроводоростей [18,19,20]. Крім того, використовують докозагексаєнову кислоту (DHA), виділену з мікроводоростей [13,14,21]. У таблиці 1 наведено результати експериментів з додавання біомаси мікроводоростей або отриманих з них сполук у корми жуйних та нежуйних тварин [17].

Таблиця 1

Результати, отриманні після додавання біомаси мікробіодоростей або отриманих з них сполук, до корму – складено за [17]

Тварини	Мікробіодорості	Використана кількість	Результати
Вівці	<i>Schizochytrium</i> sp. (біомаса)	3%	Збільшення вмісту ДГК та ЕПК у м'язових та печінкових тканинах тварин. Модуляція метаболічних змін, спричинених високоенергетичним раціоном, шляхом активації генів, що беруть участь у ліпідному обміні (зниження жиру в організмі, холестерину та олеїнової кислоти у м'язах та печінці).
	<i>Schizochytrium</i> sp. (DHA)	2%	Зміна складу жирних кислот у м'язовому, підшкірному жирі, а також у жирових відкладеннях на нирках. Найбільше зміни торкнулися відкладень м'язового жиру. Внутрішньом'язовий жир мав вищий вміст ДГК та загальних ω -3 жирних кислот у м'язі <i>M. Infraspinus</i> (IM) порівняно з м'язом <i>M. Longissimus</i> та <i>M. Psoas major</i>
	<i>Spirulina</i> sp. (біомаса)	0,1%, 2%, 3%	Прийом добавок у дозі 3% сприяв зниженню вмісту жиру в організмі, холестерину у сироватці крові, триацилгліцеридів та зменшенню окисного стресу та підвищенню антиоксидантної активності. Покращення показників імунітету, зокрема підвищення концентрації IgG у сироватці крові та кількості еритроцитів і лейкоцитів.
Риба	<i>S. platensis</i> (біомаса – сира та оброблена ферментами)	0,20%, 40%	Використання водоростей, оброблених ферментами, не вплинуло на приріст та коефіцієнт конверсії корму, натомість додавання 40% сирих водоростей призвело до зниження цих показників. Коефіцієнти видимої перетравності білків та ліпідів не змінилися при додаванні до 20% , але знизилися при вищих концентраціях. При найвищій концентрації також спостерігалось зменшення висоти кишкових складок, висоти мікроборсинок та товщини м'язової стінки. Тому було запропоновано використовувати до 20% сирих водоростей або водоростей, оброблених ферментами, що не впливає на показники росту та стан здоров'я тварин.
	<i>Scenedesmus</i> sp. (екструдована біомаса)	0,10%, 20%	Вищі концентрації призвели до зниження приросту маси тіла, питомої швидкості росту, теплового коефіцієнта росту, коефіцієнта конверсії корму, індексу кондиції та коефіцієнта засвоюваності білка; це не вплинуло на гепатосоматичний та вісцеросоматичний індекси; збільшився загальний вміст ω -3 та ПНЖК у лососі при концентрації 10%
	<i>T. lutea</i> , <i>T. swecica</i>	15%, 30%, 45% заміна білка рибного борошна	Не впливає на показники росту та ефективність перетравлення корму. Спостерігається незначне зниження засвоюваності сухої речовини, білка та енергії, що компенсується збільшенням споживання корму. Вища поживна цінність. Не спостерігається змін біометричних показників та виходу м'яса при забої, натомість харчові властивості їстівної м'язової тканини зазнали незначного впливу щодо вмісту ω -3 ПНЖК. Зелена пігментація шкіри з легкою тенденцією до почервоніння та зниженням яскравості й відтінку.
	<i>Nannochloropsis</i> sp. (біомаса)	2,5%, 5%, 7,5%, 10%	Не впливає на приріст маси тіла, питому швидкість росту, коефіцієнт ефективності використання білка, вісцеросоматичний індекс та гепатосоматичний індекс. Вищий вміст незамінних амінокислот. Підвищення активності пепсину, трипсину та ліпази, сумарної активності супероксиддисмутази та глутатіонпероксидази, а також сумарної антиоксидантної здатності сироватки крові та печінки
	<i>S. platensis</i> (біомаса)	0, 2%, 4%, 6%, 8%	У раціонів із 6% та 8% вмістом спостерігалися значно вищі показники приросту маси тіла, питомої швидкості росту, ефективності використання білка та ефективності використання ліпідів. Коефіцієнт конверсії корму був нижчим. У раціоні з 8% вмістом спостерігалися вищий вміст білка та ліпідів, вищий вміст НЖК, C20:3n-6, C18:3n-3, ПНЖК та загального вмісту ω -3 жирних кислот, а також покращення показників забарвленості

Продовження таблиці 1

Креветки	<i>Schizochytrium</i> sp.,(біомаса)	50%, 62%, 75%	Не впливає на показники росту та ефективність живлення. Зниження вмісту води та золи. Збільшення вмісту ДЛПНЖК та співвідношення n-3/n-6
Свині	<i>A. platensis</i> (біомаса)	50%, 75%, 100%	Збереження фізико-хімічних показників м'яса та підвищення вмісту ПНЖК у м'ясі. Більш насичений аромат, але з більш вираженим терпким післясмаком.
	<i>Schizochytrium</i> sp (DHA)	100% корму	Раціон не вплинув на показники росту свиней та технологічну якість м'яса Вміст ω-3 НРЖК у спинному м'язі longissimus dorsi, підшкірному жирі спини та печінці збільшився; кількість малонового діальдегіду зросла
	<i>Schizochytrium</i> sp. (біомаса)	0,5-1,0%	Підвищені концентрації не вплинули на показники росту, рівень загального холестерину, кількість лейкоцитів та тригліцеридів. Зафіксовано підвищення кількості лімфоцитів. Покращилися показники видимої загальної засвоюваності білка та сухої речовини у кишковому тракті та клубовій кишці
Кролики	<i>N. oceanica</i> (біомаса)	4,45%	Не впливає на показники росту, співвідношення корму до приросту середньодобовий приріст, втрати при готуванні, вихід туші, масу периренального жиру, вміст сирого протеїну в м'ясі ніжки та засвоюваність. Вища концентрація білків з антиоксидантною активністю (TXNRD1, HPX, що беруть участь у клітинному гомеостазі заліза та детоксикації гему) та LDHA, що утворює піруват.
Птиця	<i>A. platensis</i> (біомаса)	50%	Підтримка продуктивності тварин та поліпшення якості м'яса. Якість м'яса покращилася завдяки 50-відсотковій заміні соєвого білка на спіруліну (вищі показники рН, менші втрати під час зберігання та приготування, слабший металевий присмак) Темно-червонувато-жовтуватий колір м'яса. Ніжне та м'яке м'ясо. Слабший металевий присмак. Більш виражений смак «умамі» та курячий аромат.
	<i>Arthrospira platensis</i> (біомаса)	0,25%, 0,5%, 0,75%, 1%	Збільшення активності ферментів супероксиддисмутази та глутатіонпероксидази в сироватці крові, видимої загальної засвоюваності сухої речовини та азоту в травному тракті, <i>Lactobacillus</i> сліпої кишки. Зменшення викидів аміаку з екскрементами. Відсутність істотного впливу на відносну масу органів та якість м'яса грудки бройлерів
	<i>Chlorella vulgaris</i> , <i>Spirulina platensis</i> та <i>Amphora coffeaformis</i>	1г/кг	<i>A. coffeaformis</i> та <i>C. vulgaris</i> сприяли збільшенню кінцевої маси тіла та приросту маси тіла <i>A. coffeaformis</i> та <i>Spirulina platensis</i> підвищили вміст НЗЖК та амінокислот і зменшили ріст мікроорганізмів у грудних м'язах. Усі досліджувані мікроводорості знизили вміст малонового діальдегіду та карбонільних груп білків, втрати при готуванні та кількість аеробних мікроорганізмів, а також підвищили активність SOD у грудних м'язах. Дане дослідження показало, що досліджувані мікроводорості, зокрема <i>A. coffeaformis</i> , можуть бути використані для підвищення якості м'яса у бройлерів
Бики породи Angus × Simmental	<i>Aurantiochytrium limacinum</i> (ДГК)	100 г/на тварину на добу	Не спостерігається змін у темпах росту або характеристиках туш. Покращено співвідношення приріст:корм G:F, збільшено тривалість відгодівлі, а також підвищено CLA, ω-3 жирних кислот та співвідношення ω-3/ω-6 у яловичині. Після введення глюкози тварини виділяли менше інсуліну, що призвело до меншого кліренсу глюкози з крові.

Примітка. ДГК: докозагексаєнова кислота; ЕПК: ейкозапентаєнова кислота; IgG: імуноглобулін класу G; ПНЖК: поліненасичені жирні кислоти; НЖК: насичені жирні кислоти; ДЛПНЖК: довголанцюгові поліненасичені жирні кислоти; TXNRD1: білок, що містить домен глутаредоксин; HPX: гемопексин; LDHA: L-лактатдегідрогеназа; SOD: супероксиддисмутаза; G:F: приріст:корм; CLA: кон'югована лінолева кислота

Види мікроводоростей також мають значний вплив при застосуванні в якості добавки. Дослідники [22] додавали до раціону птиці (1 г/кг) *Chlorella vulgaris* (CV), *Spirulina platensis* (SP) та *Amphora coffeaformis* (AC) і виявили, що тестовані мікроводорості, зокрема AC, можуть використовуватися для підвищення продуктивності (більша кінцева маса тіла та приріст маси тіла) та якості м'яса (підвищений вміст незамінних жирних кислот та амінокислот, нижчий вміст маленового діальдегіду та карбонільних груп білків, менші втрати при кулінарній обробці, нижча кількість мікроорганізмів) тощо.

Включення ДГК із *Schizochytrium* sp. до раціону свиней забезпечує до поліпшення поживної цінності та жирнокислотного складу м'яса, що супроводжується збільшенням вмісту ω -3 ПНЖК. Однак було зафіксовано підвищення рівня маленового діальдегіду (показника перекисного окислення жирних кислот), що спричинило появу нехарактерного присмаку (схожого на субпродукти або рибу) у продуктах [14]. Крім того, використання ДГК з *Aurantiochytrium limacinum* (100 г/на тварину на добу) не змінило показників росту та характеристик туш телят, водночас сприяло збільшенню вмісту кон'югованої лінолевої кислоти, омега-3 жирних кислот та співвідношення омега-3/омега-6 жирних кислот у яловичині. Однак після 21-денного дозрівання м'ясо стало нестійким до процесу окислення ліпідів [21]. Отже, збагачення раціону ДГК з мікроводоростей покращує жирнокислотний профіль м'яса, але спостерігається схильність до окислення, що може негативно вплинути на технологічні, сенсорні властивості та термін придатності продуктів.

З огляду на наведені результати, додавання цільної біомаси або виділених жирних кислот з мікроводоростей у корми для тварин є важливим напрямком у виробництві м'яса з поліпшеними поживними властивостями та більш здоровим ліпідним профілем. Крім того, додавання мікроводоростей до корму для тварин сприяє екологічній стійкості, оскільки ці мікроорганізми швидко ростуть, а їхнє вирощування не вимагає використання орних земель.

У таблиці 2 наведено результати після додавання біомаси мікроводоростей або отриманих з них сполук у харчові продукти [17].

Мікроводорості є визнаним джерелом полісахаридів, білків, пептидів і незамінних амінокислот, поліненасичених жирних кислот (ПНЖК), фікобіліпротейнів, хлорофілів, каротиноїдів, вітамінів, мінералів та харчових волокон [1]. Технологічні та функціональні властивості цих сполук дають можливість застосування біомаси мікроводоростей або виділених з них сполук для поліпшення харчової та технологічної цінності м'ясних продуктів. У більшості досліджень для оцінки прямого включення біомаси мікроводоростей або похідних сполук до м'ясних продуктів додавалися *Spirulina* sp. і *Chlorella* sp., оскільки вони вважаються безпечними для споживання людиною (статус GRAS, присвоєний Управлінням з контролю за продуктами та ліками США і підтверджений Всесвітньою організацією охорони здоров'я) і добре сприймаються споживачами як продукти, що сприяють зміцненню здоров'я.

Втім, використання біомаси мікроводоростей загалом може надати м'ясним продуктам небажаних колірних, ароматичних та смакових характеристик, тому залежно від продукту доцільнішим може виявитися застосування окремих сполук. З огляду на це до рецептури гамбургерів з індички було додано ізоляти білка *Chlorella* sp. та *Spirulina* sp. у кількості 1% для заміни соєвого білка. Додавання цих компонентів призвело до зниження показників кольору (L^* , a^* і b^*), значень pH, вмісту білка, клейкості та еластичності продуктів, не вплинувши при цьому на смакові та ароматичні характеристики. Продукти зі *Spirulina* sp. демонстрували найбільший загальний вміст амінокислот і найкраще співвідношення між незамінними та замінними амінокислотами [23].

Мікроводорості є джерелом пігментів та інших біоактивних сполук з антиоксидантними властивостями, що сприяє уповільненню процесу окислення ліпідів, збереженню смакових властивостей та подовженню терміну придатності готових харчових продуктів [24, 25, 26].

Впродовж останніх років науковці активно виконують дослідження для поглиблення знань про функціональні, фізико-хімічні, консервувальні та органолептичні властивості цільної біомаси та її біоактивних сполук. Таким чином, розширюється спектр можливих застосувань, які можуть бути інтегровані в ланцюг переробки сировини. Проте слід належним чином врахувати застереження щодо включення мікроводоростей як джерела біоактивних сполук у м'ясні продукти, яке може спричинити небажані зміни їхніх органолептичних і функціональних характеристик.

Таблиця 2

Результати додавання біомаси мікродоростей або виділених сполук до харчових продуктів

Харчовий продукт	Мікродорість	Форма та використана кількість, %	Результати
Котлети з яловичини	<i>Chlorella</i> sp. <i>Spirulina</i> sp.	Біомаса 1% Замінник соєвого білка (емульгатор)	Не впливає на хімічний склад (вологість, вміст ліпідів та білків), втрати при приготуванні, текстуру (твердість, клейкість, еластичність, когезію, жувальну здатність) та смаковий профіль (умами, відсутність смаку, солодкість та гіркота) Підвищений вміст амінокислот (загальних, незамінних та замінних) Зміни кольору за рахунок зменшення яскравості (L*), почервоніння (a*) та жовтизни (b*) Хлорела підвищила pH та зменшила вміст золи
Свіжі свинячі ковбаски	<i>Chlorella</i> sp. <i>Spirulina</i> sp.	Біомаса 1% Замінник соєвого білка (емульгатор)	Не впливає на склад проксимальних шарів, вологоутримуючу здатність, адгезію та когезійність. Змінилися колірні параметри (знизилися значення L*, a* та b*), а також знизилися показники текстури. Збільшився загальний вміст амінокислот та співвідношення незамінних/замінних амінокислот
Паштет зі свинячої печінки, котлети з індички, варена грудка індички, свіжі свинячі ковбаски	<i>Chlorella</i> sp. <i>Spirulina</i> sp.	Біомаса 1% , за винятком паштету зі свинячої печінки (5%)	Збільшення вмісту амінокислот, а також смакових відтінків «умами», солодкого та гіркового смаків; зниження смакових якостей; лише паштет зі свинячої печінки мав високу смакову оцінку
Рибні бургери	<i>Chlorella minutissima</i> <i>Isochrysis galbana</i> <i>Picochlorum</i> sp.	Біомаса 0,5%, 1,0%, 1,5%	Відсутність зміни запаху Бургери стали темнішими (знизилися значення a* та b*) в залежності від концентрації Покращилися здатність до набухання, волого- та жирутримуюча здатність, а також антиоксидантна активність Рибні бургери з додаванням 0,5% <i>Chlorella minutissima</i> , 1% <i>Isochrysis galbana</i> та 1% <i>Picochlorum</i> sp. мали кращі текстурні та органолептичні властивості, ніж інші рецептури

Продовження таблиці 2			
Бургери з індичкою	<i>Chlorella</i> sp. <i>Spirulina</i> sp.	Ізолят білка 1%	Зниження показників кольору (L^* , a^* та b^*), значень рН, вмісту білка, клейкості та еластичності. Відсутність впливу на смакові та ароматичні властивості, вологість, вміст ліпідів та золи, вологоутримуючу здатність, текстура. Продукти з додаванням <i>Spirulina</i> sp. мали найбільший загальний вміст амінокислот і найкраще співвідношення між незамінними та замінними амінокислотами
Коржі роті з куркою	<i>Chlorella</i> sp. <i>Spirulina</i> sp.	Ізолят білка 1%	Збільшення загального вмісту амінокислот та поліпшення співвідношення незамінних і замінних амінокислот. Підвищення значень рН. Зміна кольору (зниження значень L^* , a^* і b^*) та зниження твердості, еластичності, зв'язності, клейкості та жувальної здатності. Відсутність впливу на хімічний склад (вологість, білки та зола) та адгезивність. Негативний вплив на органолептичні характеристики
Свиняча ковбаса по-китайськи	<i>Spirulina platensis</i>	Полісахарид 0,1%, 0,25% та 0,5%	Додавання 0,5% забезпечило більш стабільний червоний колір ковбас Підвищена антиоксидантна активність Відсутність впливу на мікробіологічний профіль Збереження аромату та смаку під час зберігання в холодильнику, зменшення перекисного окислення ліпідів та задовільні органолептичні характеристики
Сирий фарш із свинини	<i>Haematococcus pluvialis</i>	Екстракт 0,15, 0,3 або 0,45 г/кг	Дози екстракту 0,3 та 0,45 г/кг уповільнювали окислення ліпідів і підвищували стабільність кольору м'яса, завдяки чому воно отримало позитивну оцінку дегустаторів Не спостерігалось антимікробної чи антиоксидантної активності щодо білка (міоглобіну)
Райдужна форель	<i>S. platensis</i> <i>C. vulgaris</i>	Спиртовий екстракт 0,1%	Підвищення антиоксидантної активності, уповільнення процесу окислення ліпідів, збереження органолептичних властивостей та подовження терміну зберігання

Висновки. У цілому світі виразним трендом є використання альтернативних джерел поживних речовин, придатних для включення до складу харчових продуктів і тваринних кормів. Серед зазначених альтернативних джерел важливе місце посідають різні види мікроводоростей, які використовують як природну сировину для годівлі тварин завдяки різноманіттю поживних речовин і біологічно активних сполук, а також як засіб для зменшення екологічних та економічних проблем у секторі тваринництва, що дозволяє отримувати м'ясо високої якості. Крім того, в процесі наукових досліджень виявлено їхню практичну здатність до застосування в ланцюгу переробки м'яса та м'ясних продуктів. На сьогодні лише обмежену кількість мікроводоростей використано у якості технологічних і функціональних компонентів у м'ясних продуктах. Опубліковані результати досліджень підтверджують можливість використання біомаси як у цілому вигляді, так і у вигляді ізолятів біологічно активних сполук. Втім, попри очевидний потенціал мікроводоростей, для їхнього широкого використання у складі м'ясних продуктів необхідні подальші наукові дослідження для усунення існуючих негативних впливів на їхні органолептичні властивості та розроблення відповідних харчових технологій.

Бібліографія

1. 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), 230–239. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v31i2.275148>.
2. Бахмач, В., Пешук, Л., Чернушенко, О., Савченко, А., & Петренко, С. (2022). Використання інноваційних технологій та компонентів у виробництві емульсійних продуктів. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Інноваційні дослідження у наукових роботах студентів, (1), 18–22. <https://doi.org/10.20998/2220-4784.2022.01.03>.
3. Пешук, Л. В., Сімонова, І. І., & Штик, І. І. (2022). Тренд сучасності – продукція оздоровчого призначення з мікроводоростями. *Науковий вісник Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького*. Серія: Харчові технології, 24 (97), 52–59. <https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9709>.
4. Nagappa, B., Rehman, T., Marimuthu, Y., Priyan, S., Sarveswaran, G., & Kumar, S. G. (2020). Prevalence of Food Insecurity at Household Level and Its Associated Factors in Rural Puducherry: A Cross-Sectional Study. *Indian journal of community medicine : official publication of Indian Association of Preventive & Social Medicine*, 45(3), 303–306. https://doi.org/10.4103/ijcm.IJCM_233_19.
5. Kim, H. J., & Oh, K. (2015). Household food insecurity and dietary intake in Korea: results from the 2012 Korea National Health and Nutrition Examination Survey. *Public health nutrition*, 18(18), 3317–3325. <https://doi.org/10.1017/S1368980015000725>.
6. Odoms-Young, A., Brown, A. G. M., Agurs-Collins, T., & Glanz, K. (2024). Food Insecurity, Neighborhood Food Environment, and Health Disparities: State of the Science, Research Gaps and Opportunities. *The American journal of clinical nutrition*, 119(3), 850–861. <https://doi.org/10.1016/j.ajcnut.2023.12.019>.
7. WHO. Malnutrition. (2024). Available online: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition> (accessed on 12 December 2024).
8. Ma, H., Wang, X., Li, X. et al. (2024). Food Insecurity and Premature Mortality and Life Expectancy in the US. *JAMA internal medicine*, 184(3), 301–310. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2023.7968>.
9. Swinburn, B. A., Kraak, V. I., Allender, S. et al. (2019). The Global Syndemic of Obesity, Undernutrition, and Climate Change: The Lancet Commission report. *Lancet* (London, England), 393(10173), 791–846. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32822-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32822-8).
10. Kompas, T., Che, T. N., & Grafton, R. Q. (2024). Global impacts of heat and water stress on food production and severe food insecurity. *Scientific reports*, 14(1), 14398. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65274-z>.
11. Bhuvana, P., Sangeetha, P., Anuradha, V., & Ali, M.S. (2019). Spectral characterization of bioactive compounds from microalgae: *N. Oculata* and *C. Vulgaris*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. doi:10.1016/j.cofs.2020.10.014.
12. Prates JAM (2025) The role of microalgae in providing essential minerals for sustainable swine nutrition. *Front. Anim. Sci.* 6:1526433. doi: 10.3389/fanim.2025.15264
13. Díaz, M.T.; Pérez, C.; Sánchez, C.I. et al. (2017). Feeding microalgae increases omega 3 fatty acids of fat deposits and muscles in light lambs. *Journal of Food Composition and Analysis*, 56(), 115–123. doi:10.1016/j.jfca.2016.12.009.
14. De Tonnac, A., Guillevic, M., & Mourot, J. (2018). Fatty acid composition of several muscles and adipose tissues of pigs fed n-3 PUFA rich diets. *Meat science*, 140, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.11.023>.

15. Kibria, S., & Kim, I. H. (2019). Impacts of dietary microalgae (*Schizochytrium* JB5) on growth performance, blood profiles, apparent total tract digestibility, and ileal nutrient digestibility in weaning pigs. *Journal of the science of food and agriculture*, 99(13), 6084–6088. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9886>.
16. Gong, Y., & Huang, J. (2020). Characterization of four untapped microalgae for the production of lipids and carotenoids. *Algal Research-Biomass Biofuels and Bioproducts*, 49, 101897.
17. De Medeiros, Viviane P Barros; Pimentel, Tatiana C; Santâ Ana, Anderson S; Magnani, Marciane . (2021). Microalgae in the meat processing chain: feed for animal production or source of techno-functional ingredients. *Current Opinion in Food Science*, S2214799320301041–. doi: 10.1016/j.cofs.2020.10.01.
18. Smetana, S., Sandmann, M., Rohn, S. et al. (2017). Autotrophic and heterotrophic microalgae and cyanobacteria cultivation for food and feed: life cycle assessment. *Bioresource technology*, 245(Pt A), 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.113>.
19. Fan, Y., Ren, C., Meng, F., et al. (2019). Effects of algae supplementation in high-energy dietary on fatty acid composition and the expression of genes involved in lipid metabolism in Hu sheep managed under intensive finishing system. *Meat science*, 157, 107872. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.06.008>.
20. Van Vo B, Siddik MAB, Fotedar R, Chaklader MR, et al. (2020). Progressive replacement of fishmeal by raw and enzyme-treated alga, *Spirulina platensis* influences growth, intestinal micromorphology and stress response in juvenile barramundi, *Lates calcarifer*. *Aquaculture* 2020, 529:735741. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735741>.
21. Carvalho, J. R. R., Brennan, K. M., Ladeira, M. M., & Schoonmaker, J. P. (2018). Performance, insulin sensitivity, carcass characteristics, and fatty acid profile of beef from steers fed microalgae. *Journal of animal science*, 96(8), 3433–3445. <https://doi.org/10.1093/jas/sky210>.
22. El-Bahr, S., Shousha, S., Shehab, A., et al. (2020). Effect of Dietary Microalgae on Growth Performance, Profiles of Amino and Fatty Acids, Antioxidant Status, and Meat Quality of Broiler Chickens. *Animals : an open access journal from MDPI*, 10(5), 761. <https://doi.org/10.3390/ani10050761>.
23. Marti-Quijal, F. J., Zamuz, S., Tomašević, I. et al. (2019). A chemometric approach to evaluate the impact of pulses, *Chlorella* and *Spirulina* on proximate composition, amino acid, and physicochemical properties of turkey burgers. *Journal of the science of food and agriculture*, 99(7), 3672–3680. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9595>.
24. Luo, A., Feng, J., Hu, B. et al. (2017). Polysaccharides in *Spirulina platensis* Improve Antioxidant Capacity of Chinese-Style Sausage. *Journal of food science*, 82(11), 2591–2597. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13946>.
25. Pogorzelska, E., Godziszewska, J., Brodowska, M., & Wierzbicka, A. (2018). Antioxidant potential of *Haematococcus pluvialis* extract rich in astaxanthin on colour and oxidative stability of raw ground pork meat during refrigerated storage. *Meat science*, 135, 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.09.002>.
26. Haghighat Khajavi, shabnam. (2019). Evaluation of antioxidant properties of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis* and their application in order to extend the shelf life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during refrigerated storage. *LWT*. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2018.10.079>.

References

1. 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>.
2. 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 «KhPI»*. 1, 18–22. <https://doi.org/10.20998/2220-4784.2022.01.03> [in Ukrainian].
3. 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].
4. Nagappa, B., Rehman, T., Marimuthu, Y., Priyan, S., Sarveswaran, G., & Kumar, S. G. (2020). Prevalence of Food Insecurity at Household Level and Its Associated Factors in Rural Puducherry: A Cross-Sectional Study. *Indian journal of community medicine: official publication of Indian Association of Preventive & Social Medicine*, 45(3), 303–306. https://doi.org/10.4103/ijcm.IJCM_233_19.
5. Kim, H. J., & Oh, K. (2015). Household food insecurity and dietary intake in Korea: results from the 2012 Korea National Health and Nutrition Examination Survey. *Public health nutrition*, 18(18), 3317–3325. <https://doi.org/10.1017/S1368980015000725>.
6. Odoms-Young, A., Brown, A. G. M., Agurs-Collins, T., & Glanz, K. (2024). Food Insecurity, Neighborhood Food Environment, and Health Disparities: State of the Science, Research Gaps and Opportunities. *The American journal of clinical nutrition*, 119(3), 850–861. <https://doi.org/10.1016/j.ajcnut.2023.12.019>.

7. WHO. Malnutrition. (2024). Available online: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/malnutrition> (accessed on 12 December 2024).
8. Ma, H., Wang, X., Li, X. et al. (2024). Food Insecurity and Premature Mortality and Life Expectancy in the US. *JAMA internal medicine*, 184(3), 301–310. <https://doi.org/10.1001/jamainternmed.2023.7968>.
9. Swinburn, B. A., Kraak, V. I., Allender, Set et al. (2019). The Global Syndemic of Obesity, Undernutrition, and Climate Change: The Lancet Commission report. *Lancet* (London, England), 393(10173), 791–846. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(18\)32822-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(18)32822-8).
10. Kompas, T., Che, T. N., & Grafton, R. Q. (2024). Global impacts of heat and water stress on food production and severe food insecurity. *Scientific reports*, 14(1), 14398. <https://doi.org/10.1038/s41598-024-65274-z>.
11. Bhuvana, P., Sangeetha, P., Anuradha, V., & Ali, M.S. (2019). Spectral characterization of bioactive compounds from microalgae: *N. Oculata* and *C. Vulgaris*. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*. doi: 10.1016/j.cofs.2020.10.014.
12. Prates JAM (2025) The role of microalgae in providing essential minerals for sustainable swine nutrition. *Front. Anim. Sci.* 6:1526433. doi: 10.3389/fanim.2025.15264.
13. Díaz, M.T.; Pérez, C.; Sánchez, C.I. et al. (2017). Feeding microalgae increases omega 3 fatty acids of fat deposits and muscles in light lambs. *Journal of Food Composition and Analysis*, 56(), 115–123. doi:10.1016/j.jfca.2016.12.009.
14. De Tonnac, A., Guillevic, M., & Mourot, J. (2018). Fatty acid composition of several muscles and adipose tissues of pigs fed n-3 PUFA rich diets. *Meat science*, 140, 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.11.023>.
15. Kibria, S., & Kim, I. H. (2019). Impacts of dietary microalgae (*Schizochytrium* JB5) on growth performance, blood profiles, apparent total tract digestibility, and ileal nutrient digestibility in weaning pigs. *Journal of the science of food and agriculture*, 99(13), 6084–6088. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9886>.
16. Gong, Y., & Huang, J. (2020). Characterization of four untapped microalgae for the production of lipids and carotenoids. *Algal Research – Biomass Biofuels and Bioproducts*, 49, 101897.
17. De Medeiros, Viviane P Barros; Pimentel, Tatiana C; Santâ Ana, Anderson S; Magnani, Marciane . (2021). Microalgae in the meat processing chain: feed for animal production or source of techno-functional ingredients. *Current Opinion in Food Science*, 37, S2214799320301041. doi: 10.1016/j.cofs.2020.10.01.
18. Smetana, S., Sandmann, M., Rohn, S. et al. (2017). Autotrophic and heterotrophic microalgae and cyanobacteria cultivation for food and feed: life cycle assessment. *Bioresource technology*, 245(Pt A), 162–170. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.113>.
19. Fan, Y., Ren, C., Meng, F., et al. (2019). Effects of algae supplementation in high-energy dietary on fatty acid composition and the expression of genes involved in lipid metabolism in Hu sheep managed under intensive finishing system. *Meat science*, 157, 107872. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2019.06.008>.
20. Van Vo B, Siddik MAB, Fotedar R, Chaklader MR, et al. (2020). Progressive replacement of fishmeal by raw and enzyme-treated alga, *Spirulina platensis* influences growth, intestinal micromorphology and stress response in juvenile barramundi, *Lates calcarifer*. *Aquaculture* 2020, 529:735741. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735741>.
21. Carvalho, J. R. R., Brennan, K. M., Ladeira, M. M., & Schoonmaker, J. P. (2018). Performance, insulin sensitivity, carcass characteristics, and fatty acid profile of beef from steers fed microalgae. *Journal of animal science*, 96(8), 3433–3445. <https://doi.org/10.1093/jas/sky210>
22. El-Bahr, S., Shousha, S., Shehab, A., et al. (2020). Effect of Dietary Microalgae on Growth Performance, Profiles of Amino and Fatty Acids, Antioxidant Status, and Meat Quality of Broiler Chickens. *Animals: an open access journal from MDPI*, 10(5), 761. <https://doi.org/10.3390/ani10050761>.
23. Marti-Quijal, F. J., Zamuz, S., Tomašević, I. et al. (2019). A chemometric approach to evaluate the impact of pulses, *Chlorella* and *Spirulina* on proximate composition, amino acid, and physicochemical properties of turkey burgers. *Journal of the science of food and agriculture*, 99(7), 3672–3680. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9595>.
24. Luo, A., Feng, J., Hu, B. et al. (2017). Polysaccharides in *Spirulina platensis* Improve Antioxidant Capacity of Chinese-Style Sausage. *Journal of food science*, 82(11), 2591–2597. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13946>.
25. Pogorzelska, E., Godziszewska, J., Brodowska, M., & Wierzbicka, A. (2018). Antioxidant potential of *Haematococcus pluvialis* extract rich in astaxanthin on colour and oxidative stability of raw ground pork meat during refrigerated storage. *Meat science*, 135, 54–61. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2017.09.002>.
26. Haghighat Khajavi, shabnam. (2019). Evaluation of antioxidant properties of *Chlorella vulgaris* and *Spirulina platensis* and their application in order to extend the shelf life of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillets during refrigerated storage. *LWT*. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2018.10.079>.