

ISSN 2786-8974 (Online)

2026 | 1

виходить з 2023 року

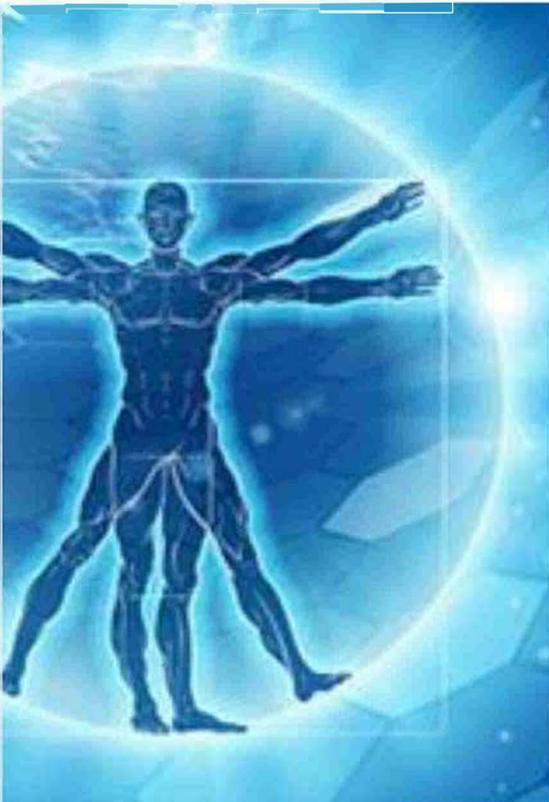
Науковий електронний журнал

Здоров'я людини і нації

Scientific e-Journal

Human and nation's health

Національний університет біоресурсів і природокористування України
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine



ISSN 2786-8974 (Online)

УДК 613:17.023.31/.32

ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ І НАЦІЇ

Електронний науковий журнал. № 2(2025)

виходить 4 рази на рік

*Рекомендовано до видання та поширення Вченою радою НУБіП України,
протокол № 9 від 26.02.2026 р.*

Засновник і видавець:

Національний університет біоресурсів і природокористування України

Рік заснування: 2023,

рішенням Вченої ради НУБіП України від 25.10.2023, протокол № 4

Державна реєстрація:

Ідентифікатор медіа R40-02286. Рішення Національної Ради України з питань телебачення і радіомовлення від 21.12.2023 р. № 1796, протокол № 31

**Включено до категорії «Б» Переліку наукових фахових видань України
за спеціальністю 181 "Харчові технології" (технічні науки).**

Наказ Міністерства освіти і науки України № 582 від 24.04.2024 р.

Інші спеціальності, за якими журнал приймає до публікації статті:

017 «Фізична культура і спорт» (освіта/педагогіка);

229 «Громадське здоров'я» (охорона здоров'я).

Журнал представлено у міжнародних наукометричних базах даних, репозиторіях та пошукових системах: Index Copernicus International, Google Scholar, Національна бібліотека України імені В. І. Вернадського

Адреса редакції:

Національний університет біоресурсів і природокористування України
03041, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15. Тел.: +38 044 527 87 20.

E-mail: humanhealth@nubip.edu.ua

<https://www.humanhealth.nubip.edu.ua>

© Національний університет біоресурсів і природокористування України, 2026

ISSN 2786-8974 (Online)

UDC 613:17.023.31/.32

HUMAN and NATION'S HEALTH**Electronic scientific journal. № 2(2025)***Published 4 times a year*

*Recommended for publication and distribution the Academic Council NULES of Ukraine,
Minutes No. 9 of February 26, 2026*

Founder and Publisher:

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

Year of foundation: 2023,

by the decision of the Academic Council NULES of Ukraine, Minutes No.4,
dated 25.10.2023

State Registration:

Media identifier R40-02286. Decision of the National Council of Television and Radio
Broadcasting of Ukraine No.1796, Minutes No.31, dated 21.12.2023 p.

*Included in category "B" of the List of scientific and specialized publications of Ukraine
in specialty 181 "Food technology" (technical sciences).*

Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No. 582 of April 24, 2024

Other specialties for which the journal accepts articles for publication:

017 «Physical education and sport» (education/pedagogy);

229 «Public health» (health).

The journal is presented in international scientometric databases, repositories, and scientific systems: Index Copernicus International,
Google Scholar, Vernadsky National Library of Ukraine

Editor's office address:

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
03041, 15 Heroiv Oborony, Kyiv, Ukraine. Phone +38 044 527 87 20.

E-mail: humanhealth@nubip.edu.ua

<https://www.humanhealth.nubip.edu.ua>

© National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 2026

Редакційна колегія:

Баль-Прилипко Лариса Вацлавівна	Доктор технічних наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна (<i>головний редактор</i>);
Муштрук Михайло Михайлович	Кандидат технічних наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна (<i>заступник головного редактора</i>);
Шевченко Наталія Юріївна	відповідальний редактор, (<i>технічний</i>), Київ, Україна;
Берник Ірина Миколаївна	Доктор технічних наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна;
Паламарчук Ігор Павлович	Доктор технічних наук, професор, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна ;
Бровенко Тетяна Вікторівна	Кандидат технічних наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна;
Стадник Ігор Ярославович	Доктор технічних наук, професор, Тернопільський національний технічний університет ім. Івана Пулюя, Україна;
Науменко Оксана Василівна	Доктор технічних наук, професор, Інститут продовольчих ресурсів НААН України, Україна;
Сукманов Валерій Олександрович	Доктор технічних наук, професор, Полтавський державний аграрний університет, Україна;
Циганков Сергій Петрович	Доктор технічних наук, старший науковий співробітник, Інститут продовольчих ресурсів НААН України, Україна;
Мирослава Качаньова	PhD, професор, Словацький університет сільського господарства в Нітрі, Словаччина;
Міхайела Корнеа- Сіпчіган	Доктор з медицини, Університет сільськогосподарських наук та ветеринарної медицини Клуж-Напока, Румунія;
Родіка Маргаоан	PhD, науковий співробітник, Університет сільськогосподарських наук та ветеринарної медицини Клуж-Напока, Румунія;
Галя Замарацкая	кандидат наук, доцент, Шведський університет сільськогосподарських наук, Швеція

Editorial Board:

Bal-Prylypko Larysa Vatslavivna	Doctor of Technical Sciences, Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine (<i>Editor-in-Chief</i>);
Mushtruk Mykhailo Mykhailovych	PhD in Technical Sciences, Associate Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine (<i>Deputy Editor-in-Chief</i>);
Shevchenko Nataliia Yuriivna	Editor-in-Chief, (<i>Technical</i>), Ukraine;
Bernyk Iryna Mykolaivna	Doctor of Technical Sciences, Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine;
Palamarchuk Igor Pavlovych	Doctor of Technical Sciences, Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine;
Brovenko Tetiana Viktorovna	PhD in Technical Sciences, Associate Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine
Stadnyk Ihor Yaroslavovych	Doctor of Technical Sciences, Professor, Ternopil National Technical University. Ivan Pulyuy, Ukraine;
Naumenko Oksana Vasylivna	Doctor of Technical Sciences, Professor, Institute of Food Resources of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine;
Sukmanov Valerii Oleksandrovych	Doctor of Technical Sciences, Professor, Poltava State Agrarian University, Ukraine;
Tsygankov Serhii Petrovich	Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Institute of Food Resources of the National Academy of Sciences of Ukraine, Ukraine;
Miroslava Kačániová	PhD, Professor, Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovakia;
Mihaiela Cornea-Cipcigan	Doctor of Medicine, University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine, Cluj-Napoca, Romania;
Mărgăoan Rodica	PhD, University of Agricultural Science and Veterinary Medicine Cluj-Napoca, Calea Manastur, Romania;
Galya Zamaratskaia	Ph.D., Associate Professor, Swedish University of Agricultural Sciences, Sweden

ЗМІСТ

1. Марія Жеплінська, Володимир Василів, Костянтин Горенков, Ольга Оринич Органолептична оцінка плодово-ягідних напоїв з додаванням меду	7
2. Олег Швець, Лариса Баль-Прилипка, Олександр Мартинчук Вплив споживання пробіотичного йогурту «Карпатський» на прояви функціональних шлунково-кишкових розладів	17
3. Ярослав Кислиця, Аліна Менчинська Характеристика мінерального складу м'яса африканського кларієвого сома (<i>Clarias Gariepinus</i>)	32
4. Роман Чуюк, Михайло Муштрук, Світлана Савчук Технологічні та інноваційні підходи до регенерації відпрацьованих олій	44
5. Галина Карпик, Олена Іванівна Вічко, Світлана Марчишин, Людмила Слободянюк, Лілія Будняк Перспективи використання екстракту чорнобривців розлогих у хлібопекарському виробництві	60
6. Тетяна Лебеденко, Оксана Ткачук, Олена Кананихіна, Тетяна Бровенко Дослідження перспектив використання винних дріжджів для виготовлення пшеничного хліба.....	70
7. Андрій Ганущак, Костянтин Балашов, Олег Швець Дефіцит вітаміну D в Україні: від епідеміології до стратегій корекції – аспекти з позиції громадського здоров'я та нутриціології	85
8. Вікторія Кулик, Оксана Штонда Вплив маринадів рослинного походження на структурно-механічні властивості натуральних напівфабрикатів	97
9. Максим Власенко, Наталія Голембовська, Іван Баль, Руслан Кононенко, Сергій Лебський Стан та перспективи рибного господарства у світі та Україні	110
10. Роман Мукоїд, Марина Бойко, Володимир Василів, Михайло Муштрук, Андрій Макеєв Виготовлення комбучі з використанням нетрадиційної сировини	124
11. Ірина Берник, Ігор Драчук Фізична модель формування стабільної харчової матриці конопляної емульсії за ультразвукового кавітаційного впливу	139
12. Юанься Фу Гіперспектральна ідентифікація композитних китайських ковбас	154

CONTENTS

1. Marija Zheplinska, Volodymyr Vasyliv, Konstantyn Gorenkov, Olga Orynych Organoleptic evaluation of fruit and berry drinks with the addition of honey	7
2. Oleg Shvets, Larysa Bal-Prylypko, Oleksandr Martynchuk The impact of consuming « <i>Karpatsky</i> » probiotic yogurt on symptoms of functional gastrointestinal disorders	17
3. Yaroslav Kyslytsia, Alina Menchynska Characterization of the mineral composition of African sharptooth catfish meat (<i>Clarias Gariepinus</i>)	32
4. Roman Chuiuk, Mikhailo Mushtruk, Svitlana Savchuk Technological and innovative approaches to the regeneration of waste oils	44
5. Halyna Karpyk, Olena Vichko, Svitlana Marchyshyn, Liudmyla Slobodianiuk, Liliia Budniak Prospects for the use of french marigold (<i>tagetes patula l.</i>) extract in bakery production	60
6. Tetiana Lebedenko, Oksana Tkachuk, Olena Kananykhina, Brovenko Tetyana Research on the prospects of using wine yeasts for the production of wheat bread	70
7. Andriy Ganuschak, Kostyantyn Balashov, Oleg Shvets Vitamin D deficiency in Ukraine: from epidemiology to correction strategies - public health and nutrition aspects	85
8. Viktoriia Kulyk, Oksana Shtonda Influence of marinades of vegetable origin on the structural and mechanical properties of natural semi-finished products.....	97
9. Maksym Vlasenko, Nataliia Holembovska, Ivan Bal, Ruslan Kononenko, Serhiy Lebskyi State and prospects of fisheries in the world and in Ukraine	110
10. Roman Mukoid, Marina Boiko, Volodymyr Vasyliv, Mikhailo Mushtruk, Andriy Makeyev Production of kombucha using unconventional raw materials	124
11. Iryna Bernyk, Igor Drachyk Physical model of stable food matrix formation in hemp emulsion under ultrasonic cavitation.....	139
12. Yuanxia Fu Hyperspectral identification of composite Chinese sausages	154

УДК 641.87

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.07>

ОРГАНОЛЕПТИЧНА ОЦІНКА ПЛОДОВО-ЯГІДНИХ НАПОЇВ З ДОДАВАННЯМ МЕДУ

Марія Михайлівна Жеплінська

кандидат технічних наук, доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-7286-3003>

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, Героїв Оборони, м. Київ, Україна.*

Володимир Павлович Васи́лів

кандидат технічних наук, доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-2109-0522>

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, вул. Героїв Оборони 15, м. Київ, Україна.*

Костянтин Володимирович Горенков

аспірант,

<https://orcid.org/0009-0000-4404-9824>

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, вул. Героїв Оборони 15, м. Київ, Україна.*

Ольга Оринич

доктор інженерних наук, професор

<https://orcid.org/0000-0002-2056-3260>

*Білостоцький технологічний університет
15-351, 45А вул. Війська, Білосток, Польща*

Анотація. Зростаючий інтерес до здорового способу життя та раціонального харчування обумовлює необхідність розробки нових функціональних продуктів, які поєднують високу харчову цінність, натуральний склад та приємні смакові якості. Плодово-ягідні напої з додаванням меду відповідають цим вимогам, оскільки поєднують у собі користь натуральних плодів та ягід і біологічно активних компонентів меду, зокрема вітамінів, мінеральних речовин та амінокислот. Використання меду як природного підсолоджувача дозволяє замінити цукор в раціоні, що є актуальним питанням для профілактики метаболічних порушень в організмі людини. В роботі представлено склад, властивості та технологічні особливості розроблених плодово-ягідних напоїв з різними сортами меду. Для цього були застосовані такі методи як аналітичний огляд літературних джерел, органолептична оцінка напоїв, порівняльний аналіз зразків на прикладі харчової та енергетичної цінності. Встановлено, що використання замороженої вишні та сливи не має суттєвого впливу на органолептику готових напоїв. Поєднання таких плодів і ягід як яблук, груші, сливи та вишні сприяло розробці більш сенсорно прийнятних продуктів з додаванням різних видів меду – соняшникового, липового, гречано-конюшинового та акацієвого, які виступили як підсолоджувачі, антиоксиданти та джерело поживних речовин. Яблучно-вишневий напій та грушево-сливовий напій (обидва з додаванням 6% акацієвого меду) показали найвищі бали за органолептичними показниками. Розробка плодово-ягідних напоїв, що збагачені медом, забезпечує покращення їх смакових та ароматичних властивостей, надає додаткову цінність як функціонального продукту для підтримки здоров'я і сприяє профілактиці багатьох захворювань. Отримані результати дозволили поглибити наукові уявлення про взаємодію плодово-ягідної сировини з натуральним медом у складі напоїв, їхню харчову цінність та вплив на органолептичні характеристики. Розроблені рецептури напоїв на основі яблук, груш, слив і вишні з використанням медів різних сортів можуть бути використані підприємствами консервної

промисловості для виробництва натуральних напоїв із підвищеною біологічною цінністю, а також у закладах громадського харчування.

Ключові слова: харчова цінність, біологічна цінність, біологічно активні речовини, оздоровчі властивості.

UDC 641.87

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.07>

ORGANOLEPTIC EVALUATION OF FRUIT AND BERRY DRINKS WITH THE ADDITION OF HONEY

Marija Zheplinska

PhD in Technical Sciences, Associate Professor National,

<https://orcid.org/0000-0002-7286-3003>

University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,

03041, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine.

Volodymyr Vasylyv

PhD in Technical Sciences, Associate Professor,

<https://orcid.org/0000-0002-2109-0522>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,

03041, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine.

Konstantyn Gorenkov

Postgraduate Student,

<https://orcid.org/0009-0000-4404-9824>,

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,

03041, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine.

Olga Orynycz

Dr hab. inż., Professor

<https://orcid.org/0000-0002-2056-3260>

Bialystok University of Technology,

15-351, 45A Wiejska Str., Bialystok, Poland

Abstract. The growing interest in a healthy lifestyle and balanced diet necessitates the development of new functional products that combine high nutritional value, a natural composition, and a pleasant taste. Fruit and berry drinks with the addition of honey meet these requirements, as they combine the benefits of natural fruits and berries and biologically active components of honey, in particular vitamins, minerals, and amino acids. Using honey as a natural sweetener allows you to replace sugar in your diet, which is an urgent step in preventing metabolic disorders in the human body. The work presents the composition, properties, and technological features of the developed fruit and berry drinks with different varieties of honey. For this purpose, methods such as analytical review of literary sources, organoleptic evaluation of beverages, and comparative analysis of samples based on nutritional and energy values were applied. It was found that the use of frozen cherries and plums does not significantly affect the organoleptic properties of the finished drinks. The combination of fruits and berries, such as apples, pears, plums, and cherries, contributed to the development of more sensory acceptable products with the addition of different types of honey - sunflower, linden, buckwheat-clover, and acacia, which acted as sweeteners, antioxidants, and a source of nutrients. Apple-cherry and pear-plum drinks (both with 6% acacia honey) had the highest scores for organoleptic indicators. The development of fruit and berry drinks enriched with honey improves their taste and aroma and adds additional value as a functional product for health maintenance, contributing to the prevention of many diseases. The results obtained provided a deeper scientific understanding of the interactions between fruit and berry raw materials and natural honey in beverage

composition, their nutritional value, and their impact on organoleptic characteristics. The developed recipes of beverages based on apples, pears, plums and cherries using honey of different varieties can be used by canning industry enterprises for the production of natural beverages with increased biological value, as well as in public catering establishments.

Key words: nutritional value, biological value, biologically active substances, health-improving properties.

ВСТУП. Ринок виробництва різних видів соків на українських теренах потужно розвивається, що призводить до щорічного зростання об'єму виробництва до 40%, експортуючи при цьому майже половину сокової продукції (Laryutska, 2021). Підвищений попит на соки значною мірою зумовлений прагненням людей обирати здоровіше альтернативи солодким газованим напоям через їхній негативний вплив, такий як ожиріння, діабет, проблеми з серцево-судинною системою організму та руйнування зубів, що змушує споживачів шукати більш натуральні та корисні напої (Choo et al., 2025; Zheplinska et al., 2025). Відсоток українців, котрі віддають перевагу здоровому харчуванню та більш прискіпливо звертають увагу на склад і поживну цінність харчових продуктів, постійно зростає. Тому склад інгредієнтів та смак напою має неабиякий впливає на вибір потенційного споживача. Завдяки додаванню в харчову продукцію, зокрема напої, консервантів, можна подовжувати їх термін зберігання, але в такому випадку такі продукти не будуть відноситися до групи здорового харчування. Найбільш популярними для людей в останні роки є соки прямого відтискання та свіжо відтиснені соки фреші (Rerajić et al., 2019; Koutchma et al., 2016), а також напої з додаванням екстрактів лікарської сировини (Zheplinska et al., 2023).

Зростання вимогливості українського споживача, що зумовлене насиченістю ринку та доступом до інформації, робить залучення до певного бренду складнішим, змушуючи виробників впроваджувати інноваційні методи та створювати нові смаки та мікси. Виробники такої продукції мають фокусуватися на якості, вартості та унікальності напоїв, щоб утримати тих споживачів, які вживають дану продукцію, та залучити нових. Надзвичайно велика кількість смакових новинок через певний час може призвести до зворотного процесу, а саме оптимізації асортименту. Позиції напоїв, котрі отримали підтримку споживача, будуть продовжують виробляти, а позиції напоїв, що споживалися не так активно – відправлятимуться або ж на доопрацювання рецептури, або ж їх приберуть з ринку взагалі.

Понад 90% готової сокової продукції припадає на українських виробників напоїв. При цьому імпортовані соки є менш популярними через високу вартість та логістичний ланцюг, підкреслюючи інтерес споживачів до якісного українського продукту. Обсяги експорту українських напоїв досить високі, що вказує на зацікавленість закордонних споживачів до якісного українського продукту, особливо це стосується яблучного концентрату (Mirzoieva et al., 2025).

Дослідниками S. Pavlenko et al. (2021) запропоновано рецептури соковмісних купажованих фруктових та овочевих продуктів з додаванням колагену як біологічно активної добавки. За даними авторів технологія отримання напоїв мінімізує вплив колагену на органолептичні показники розроблених рецептурних складів готової продукції та зберігає його корисні біологічно активні властивості в консервованому продукті після проведення теплової стерилізації.

Використання меду як одного з інгредієнтів в плодово-ягідних напоях дає позитивний ефект, бо він виступає альтернативою цукру і надає напоям приємних смако-ароматних властивостей (Kravchuk, 2021). Мед подовжує термін зберігання напоїв завдяки наявності антиоксидантів, а вміст в ньому таких біологічно активних речовин, як вітаміни та мінерали, робить їх ще більш кориснішими для здоров'я (Adamchuk et al., 2017).

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. Плодово-ягідні напої з додаванням меду стають все більш популярними, оскільки споживачі частіше обирають продукти з натуральними інгредієнтами,

які мають додаткові корисні властивості. На ринку розширюється асортимент таких напоїв, що включають різноманітні сорти меду - від класичного квіткового до рідкісних сортів, таких як гречаний або акацієвий. Кожен сорт меду має унікальні властивості та додає свої нотки смаку, що дозволяє виробникам створювати різні поєднання смаків і виробляти нові продукти (Ogwu and Izah, 2025; Hasam et al., 2020).

Напої з медом добре задовольняють ці потреби завдяки природному походженню та позитивним його властивостям. Активно проводяться дослідження способів збереження корисних властивостей меду та основної сировини за рахунок нових методів обробки та пакування, таких як ультразвукова обробка або пастеризація без високих температур (Roger and Judith, 2022; Bermudez-Aguirre and Niemira, 2022). Все це дозволяє підтримувати імунну систему організму людини, створювати антибактеріальні та протизапальні властивості, забезпечувати енергією організм та покращувати травлення.

Сертифікація органічних продуктів підвищує їхню привабливість для споживачів, які шукають натуральну та безпечну їжу. Це стає особливо актуальним для напоїв з медом, адже органічне бджільництво також набуває популярності не тільки в Україні, але й у всьому світі (Fatimah et al., 2025; Crowder and Reganold, 2015).

У виробництві функціональних продуктів на основі традиційного харчового середовища з'являються нові напрями, які спрямовані на підвищення користі таких продуктів та надання їм додаткових властивостей для покращення здоров'я людини. Зокрема, плодово-ягідні напої з медом відносяться до тих категорій, яка може бути основою для функціонального продукту. Вона активно вдосконалюється через використання сучасних технологій та інгредієнтів, що збільшують біологічну цінність продукту та відповідають вимогам здорового харчування (Fagih et al., 2025).

Збагачення напою завдяки додаванню меду, який є натуральним антиоксидантом, покращує його корисні властивості (Zheplinska et al., 2022).

Відомо, що енергетична цінність меду складає приблизно 300 ккал, а вуглеводи становлять 82 г/100 г меду, які в основному складаються з глюкози і фруктози, що легко засвоюються організмом (Alvarez-Suarez et al., 2010). Відсутність жирів робить мед низькокалорійним продуктом. Щодо біологічної цінності, то мед має імуностимулюючу та протизапальну дію, надає заспокійливого ефекту, зменшуючи рівень стресу, нормалізуючи сон і покращуючи самопочуття, та підтримує серцево-судинну систему завдяки антиоксидантам та ферментам (Bertoncej et al., 2007).

Таким чином, використання меду в розробці плодово-ягідних напоїв збагачує їх смакові та ароматичні властивості та надає додаткову цінність як функціонального продукту, що підтримує здоров'я і сприяє профілактиці багатьох захворювань (Bucekova et al., 2023).

Мед є багатофункціональним інгредієнтом, який не лише покращує органолептичні показники продукту, але й додатково вносить в напій біологічно активні речовини, що робить такі напої з медом популярними серед споживачів (Pinto Neto et al., 2025).

Отже, функціональні продукти, в тому числі на основі меду, володіють корисними властивостями, таким як антимикробними, антиоксидантними та імуностимулюючими. Застосування різних сортів меду в плодово-ягідних напоях дозволяє значно підвищити харчову та біологічну цінність таких напоїв, що є актуальним питанням сьогодення.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Об'єктами дослідження були плодово-ягідні сокові напої, виготовлені на основі соків з яблук, груш, вишень та слив із додаванням натурального меду різних ботанічних походжень: акацієвого, липового, гречано-конюшинового та соняшникового. Яблука і груші для приготування напоїв використовувалися у свіжому вигляді, а сливи і вишні – в замороженому, оскільки дослідження проводилися в зимово-весняному періоді часу.

Органолептичні показники напоїв визначали візуально з використанням циліндричного бокалу місткістю 250 см³, діаметром 70 мм в прохідному світлі, в такій послідовності:

зовнішній вигляд, колір, аромат, консистенція і смак. Група студентів у кількості 15 чоловік, які приймали участь в дегустаційній оцінці, заповнювала дегустаційні листи за 10-и бальною системою. Як результат бралось середньоарифметичне значення за кожним показником.

Харчову та енергетичну цінність отриманих напоїв розраховували, використовуючи додатки для розрахунку калорійності.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГОВОРЕННЯ. У табл. 1 наведені органолептичні показники плодово-ягідної сировини, що використовуються для приготування напоїв. Розглядається стан свіжої та замороженої сировини, а також основні сенсорні показники: зовнішній вигляд, колір, консистенція, смак та аромат.

Таблиця 1. Органолептичні показники плодово-ягідної сировини

Назва сировини	Стан	Зовнішній вигляд	Колір	Консистенція	Смак	Аромат
Яблука	Свіжі	Цілі, чисті, без пошкоджень	Червоний	Щільна, соковита	Солодко-кислий	Свіжий, характерний
Груші	Свіжі	Цілі, без вм'ятин і пошкоджень	Жовтувато-зелений	Соковита, ніжна	Солодкий	Ніжний, приємний
Вишні	Заморожені	Цілі, без сторонніх включень	Темно червоний	М'яка, злегка водяниста	Кисло-солодкий	Слабкий, приємний
Сливи	Заморожені	Цілі, без пошкоджень, незначні тріщини шкірки після розморожування	Темно фіолетовий	М'яка з невеликою водянистістю	Кисло-солодкий	Злегка ослаблений, але відповідний

Джерело: розроблено авторами

За зовнішнім виглядом кожний вид сировини мав цілісну форму, без пошкоджень. Колір відповідав сорту та виду сировини. Консистенція у свіжих плодів щільна та соковита, а для замороженої сировини вишні та сливи – м'яка та незначно зволожена. За смаком та ароматом вся сировина відповідала інформації, що наведена в табл. 1. Цей аналіз дозволив нам оцінити якість сировини та її відношення до створених напоїв, особливо наслідків термічної обробки (заморожування) для збереження природних властивостей сировини.

Існує тенденція поєднувати різноманітні плоди і ягоди для посилення як смаку, так і внеску харчових якостей в нові напої (Nile and Park, 2014), тому використання вищезгаданої основної сировини, яка є характерною і основною для вирощування в Україні, може створити нові продукти як джерело корисних речовин для людини.

В табл. 2 представлено такі органолептичні показники як зовнішній вигляд, аромат та смак для гречано-конюшинового, соняшникового, липового та акацієвого медів, які використовувалися як додатковий інгредієнт при отриманні напоїв профілактичного призначення.

Досліджуючи сенсорну характеристику даних видів меду, можна сказати, що кожен мед мав унікальні органолептичні властивості, які зумовлені їхнім походженням. Зокрема, мед акації світло-прозорого кольору мав найніжніший смак і аромат, тоді як гречано-конюшиновий – найінтенсивніший з темно-бурштиновим забарвленням. Липовий мед виділявся ніжним ароматом з приємною гірчинкою. Натомість соняшниковий мед - гармонійним смаковим букетом яскраво-жовтого забарвлення.

Унікальність кожного виду меду описано в статті R. Blishch and L. Shevchuk, (2025), з чого можна зробити висновок про збереження природних органолептичних характеристик акацієвого, липового та гречаного меду з вираженим ароматичним профілем.

Basuny et al. (2023) досліджували процес екстрагування та оцінку йогуртового напою з додаванням меду, внаслідок чого відбулася заміна тростинного цукру на натуральний мед і готовий напій мав високу харчову цінність та подовжений термін зберігання.

Таблиця 2. Органолептичні показники різних видів медів

Вид меду	Зовнішній вигляд	Аромат	Смак
Гречано-конюшиновий	Темно-бурштиновий	Інтенсивний, з гречаними та квітковими нотками	Насичений, трохи терпкий, з квітковим після смаком
Соняшниковий	Яскраво-жовтий, швидко кристалізується	Легкий, нейтральний	Солодкий, злегка терпкий
Липовий	Однорідний, густий, без домішок	Ніжний, з ароматом липового цвіту	Приємний з легкою гірчинкою
Акацієвий	Світло-прозорий, майже безбарвний	Ніжний, тонкий аромат акації	Дуже солодкий та м'який

Джерело: розроблено авторами

Moldovan et al. (2022) досліджували сенсорні характеристики ромашкового безалкогольного напою з додаванням різних підсолоджувачів, серед яких були білий та коричневий цукор, мед, листя стевії. Саме додавання меду показало найкращу антиоксидантну активність та найвищий вміст поліфенолів в готовому напої за фізико-хімічними показниками та напій отримав найвищі бали за органолептичними показниками.

Під час дослідження були розроблені рецептури напоїв, які поєднували плодови та ягідні соки з яблук, груш, вишні та слив. За експериментальними даними P. N Curi et al. (2017) поєднання плодів і ягід є надзвичайно цікавим і може сприяти розробці сенсорно більш прийняттого продукту, ніж коли його виготовляють лише з одного фрукта.

У табл. 3 наведено комбінацію сировини, оптимальне співвідношення соку до води та доданий вміст меду, кількість якого коригувалася згідно денної норми споживання. Представлені комбінації були обрані з урахуванням потенційних особливостей напоїв. Підсолоджування напоїв цукром, чим особливо захоплюються діти шкільного віку (Roesler, 2021) може призвести в майбутньому до негативних наслідків, таких як ожиріння чи цукровий діабет. А застосування натурального інгредієнта меду як підсолоджувача, навпаки, виконуватиме роль антиоксиданта та джерела мінеральних речовин, що корисні для організму.

Таблиця 3. Рецептурний склад комбінованих напоїв

Напої	Співвідношення соку і води	Мед	% доданого меду
Яблучно-вишневий	65:35	Акація	6
Вишнево-грушевий	60:40	Гречано-конюшиновий	5
Грушево-яблучний	60:40	Соняшниковий	5
Грушево-сливовий	60:40	Акація	6
Вишнево-сливовий	65:35	Липа	5
Яблучно-сливовий	65:35	Гречано-конюшиновий	6

Джерело: розроблено авторами

Органолептична оцінка зразків напоїв за колірною та смаковою гамою наведена в табл. 4, з якої видно, що отримані напої мають гармонійний смак та кольорні характеристики, що відповідають складу плодів та ягід у рецептурі. Через різноманітність відтінків та смаків такі напої можуть задовільнити низку споживчих уподобань. Дослідженнями F. J. Francis (1995) встановлено, що колір є однією з основних характеристик, що впливає на сприйняття якості людиною. Вимірювання кольору за даними вченого може бути використано для оцінки хімічних компонентів як показників якості. Сприйняття кольору також взаємодіє з іншими органолептичними характеристиками, такими як солодкість, а також з освітленням. Крім цього сприйняття кольору якості змінюється з віком людини. Тому в майбутньому при визначенні органолептичних властивостей напоїв бажано би було проводити дегустацію для населення різних вікових категорій.

Таблиця 4. Колірні та смакові властивості напоїв

Напої	Колір	Смак
Яблучно-вишневий	Темно-червоний	Кисло-солодкий, освіжуючий
Вишнево-грушевий	Червонувато-жовтий	Солодкий з легкою кислінкою
Грушево-яблучний	Світло-жовтий	Солодкий, м'який
Грушево-сливовий	Бурштиново-фіолетовий	Солодкий, насичений
Вишнево-сливовий	Темно-фіолетовий	Кисло-солодкий, терпкий
Яблучно-сливовий	Рубіново-фіолетовий	Солодкий з фруктовую кислінкою

Джерело: розроблено авторами

На основі даних табл. 5 за органолептичною оцінкою напоїв нами визначено найоптимальніші варіанти напоїв, враховуючи такі показники, як смак, колір, аромат, консистенція та післясмак за 10-и бальною шкалою.

Таблиця 5. Органолептична таблиця напоїв

Напій	Смак (1-10)	Колір (1-10)	Аромат (1-10)	Консистенція (1-10)	Післясмак (1-10)
Яблучно-вишневий	8	9	9	8	9
Вишнево-грушевий	9	8	8	8	8
Грушево-яблучний	8	7	7	9	7
Грушево-сливовий	9	9	8	9	8
Вишнево-сливовий	7	9	7	8	7
Яблучно-сливовий	8	9	8	9	9

Джерело: розроблено авторами

Найвищі бали за ароматом, кольором та післясмаком отримав яблучно-вишневий напій з додаванням 6% акацієвого меду, а яблучно-сливовий напій характеризувався вподобаннями у студентів за смаком, кольором та консистенцією. При цьому в останній напій було додано 6% гречано-конюшиного меду. Ще один напій - грушево-сливовий з додаванням 6% акацієвого меду - також показав високі бали за кольоровою гамою, консистенцією та післясмаком. Отже, можна констатувати, що серед усіх напоїв найбільші бали отримали яблучно-вишневий та грушево-сливовий напої. Звичайно використання ферментованих напоїв призводить до підтримки безпеки, покращення харчової цінності та подовження терміну зберігання таких напоїв (Pinto et al., 2022). Тим самим такі напої зменшують негативний вплив на харчові, біоактивні та смакові сполуки плодово-ягідних напоїв. Проте розроблені рецептури напоїв можна використовувати для споживання в місцях громадського харчування.

В табл. 6 представлена харчова та енергетична цінність експериментальних зразків напоїв, з якої можна побачити вміст білків, жирів та вуглеводів та їхню калорійність залежно від інгредієнтів напоїв.

Таблиця 6. Харчова та енергетична цінність 100 мл напоїв

Напій	Білки, г	Жири, г	Вуглеводи, г	Калорійність, ккал
Яблучно-вишневий	0,23	0,10	6,83	31,2
Вишнево-грушевий	0,24	0,09	6,45	29,1
Грушево-яблучний	0,09	0,06	6,75	27,9
Грушево-сливовий	0,18	0,06	7,05	29,7
Вишнево-сливовий	0,33	0,10	7,15	33,2
Яблучно-сливовий	0,16	0,07	7,48	31,9

Примітка: дані харчової цінності взято з таблиці калорійності <https://www.tablycjakalorijnosti.com.ua/stravy/pyvo>

Джерело: розроблено авторами

За результатами розрахунку харчового складу та енергетичної цінності шести зразків напоїв з використанням різних видів меду встановлено, що калорійність усіх досліджуваних напоїв була помірною і становила від 27,9 в грушево-яблучному напої до 33,2 ккал/100 мл у вишнево-сливовому.

Більшу частину харчової цінності складають вуглеводи (6,45...7,48 г/100 мл), які є основним джерелом енергії. Вміст білка та жиру в усіх зразках був низьким (менше 0,4 г/100 мл), що є властивим для натуральних напоїв.

Визначене співвідношення напою до води (від 60:40 до 65:35) знижує загальну калорійність напою, зберігаючи унікальний смак і поживну цінність плодово-ягідних інгредієнтів.

Mozaffarian et al., (2021) представили в своїй роботі систему профілів поживних речовин Food Compass, яка використовує характеристики для проведення оцінки корисності харчових продуктів.

На перспективу необхідно визначити фізико-хімічні, мікробіологічні показники та показники безпечності напоїв, що й стане предметом наших подальших досліджень.

Ці напої можна рекомендувати широкому колу споживачів, включаючи дітей, людей, які дотримуються здорового способу життя, контролюють свою вагу або споживання цукру.

ВИСНОВКИ. Проведено органолептичну оцінку основної сировини для приготування напоїв - свіжої (яблука, груші) і замороженої (вишня, сливи) та чотирьох видів меду (гречано-конюшинового, соняшникового, липового та акацієвого).

На основі отриманого рецептурного складу експериментальних напоїв проведена їх органолептична оцінка, яка показала, що використання замороженої сировини не має суттєвого впливу на органолептику готових напоїв.

Найвищі бали за 10-и бальною шкалою отримали напої яблучно-сливовий з додаванням 6% гречано-конюшинового меду, грушево-сливовий та яблучно-вишневий з додаванням 6% акацієвого меду.

Обчислено харчову та енергетичну цінність усіх зразків напоїв. Визначене співвідношення соку до води в кількості 60:40...65:35 знижує загальну калорійність напою, зберігаючи унікальний смак і поживну цінність плодово-ягідних інгредієнтів.

Узагальнення отриманих результатів органолептичної оцінки плодово-ягідних напоїв з додаванням різних видів меду дозволяє стверджувати, що розроблені напої відповідають сучасним вимогам до функціональних харчових продуктів та мають перспективи для

впровадження у виробництво після ретельного дослідження фізико-хімічних, мікробіологічних показників та показників безпечності продукції.

Подяки – немає.

References

- Adamchuk, L., Akulonok, O., Brindza, Ja. (2017). The use of honey in health nutrition. *Agricultural science and food technology*, 2 (96). 268-277.
- Alvarez-Suarez, J., Tulipani, S., Romandini, S., Bertoli, E. & Battino, M. (2010). Contribution of honey in nutrition and human health: A review. *Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism*, 3, 15-23. <https://doi.org/10.1007/s12349-009-0051-6>.
- Basuny, A., AbdelAziz, Kh., Bikheet, M., Shaban, M. & Aboelainin, M. (2023). Enhancing The Nutritional Value and Chemical Composition of Functional Yogurt Drink by Adding Bee Honey and Spirulina Powder. *Journal of Agricultural Chemistry and Biotechnology*, 23-30. <https://doi.org/10.21608/jacb.2023.200159.1045>.
- Bayarri, S., Calvo, C., Costell, E. & Durán, L. (2001). Influence of color on perception of sweetness and fruit flavor of fruit drinks. *Food Science and Technology International*, 7(5), 399-404. <https://doi.org/10.1106/JJWN-FFRQ-JBMC-LQ5R>.
- Bermudez-Aguirre, D. & Niemira, B. A. (2022). Pasteurization of Foods with Ultrasound: The Present and the Future. *Applied Sciences*, 12(20), 10416. <https://doi.org/10.3390/app122010416>.
- Bertoncej, J., Dobersek, U., Jamnik, M., & Golob, T. (2007). Evaluation of phenolic content, antioxidant activity. Quality and color of Slovenian honey. *Food Chemistry*, 105(2), 822-8.
- Blishch, R. & Shevchuk, L. (2025). Research on the quality of different types of honey for the producing of honey drinks. *Bulletin of the National Technical University «KhPI» Series New solutions in modern technologies*, 66-70. <https://doi.org/10.20998/2413-4295.2025.02.09>.
- Bucekova, M., Godocikova, J., Gueyte, R., Chambrey, C. & Majtan, J. (2023). Characterisation of physicochemical parameters and antibacterial properties of New Caledonian honeys. *PLoS ONE*, 18, e0293730. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0293730>.
- Choo, Y., Setyaningsih, W., Tan, H., Teh, L. & Tan, C. X. (2025). Storage stability of fresh, sonicated, and pasteurized noni juices. *International Journal of Food Engineering*, 21, 261-271. <https://doi.org/10.1515/ijfe-2024-0062>.
- Crowder, D. & Reganold, J. (2015). Financial competitiveness of organic agriculture on a global scale. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112 (24), 7611-7616.
- Fagih, M., & Herdiman, L. & Rochman, T. (2025). Influence of Brand Information on Consumers' Expectations and Liking of Honey Lemon Healthy Drinks. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 87-96. <https://doi.org/10.23917/jiti.v24i01.7317>. 52, 53.
- Fatimah, A., Suryani, M., Sakti, B. & Juhari, A. (2025). Local Consumer Behaviour in Developing Countries toward Food and Drinks with Honey Labels: Evidence from Indonesia. *Journal of Marketing Innovation (JMI)*. <https://doi.org/10.35313/jmi.v5i1.112>.
- Fatimah, A., Suryani, M., Sakti, B. & Juhari, A. (2025). Local Consumer Behaviour in Developing Countries toward Food and Drinks with Honey Labels: Evidence from Indonesia. *Journal of Marketing Innovation*, 5. doi10.35313/jmi.v5i1.112.
- Francis, F.J. (1995). Quality as influenced by color. *Food Quality and Preference*, 6(3), 149-155. [https://doi.org/10.1016/0950-3293\(94\)00026-R](https://doi.org/10.1016/0950-3293(94)00026-R).
- Hasam, S., Qarizada, D. & Azizi, M. A. (2020). Review: Honey and Its Nutritional Composition. *Asian Journal of Research Biochemistry*, 7, 34-43. <https://doi.org/10.9734/ajrb/2020/v7i330142>.
- Koutchma, T., Popović, V., Ros-Polski, V. & Popielarz, A. (2016). Effects of Ultraviolet Light and High-Pressure Processing on Quality and Health-Related Constituents of Fresh Juice Products: UV & HPP effects on juice quality. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 15. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12214>.

- Kravchuk, O. (2021). Honey and its quality. *Norwegian Journal of development of the International Science*, 55(2), 3-7.
- Lapytska, N.V. (2021). Technology of beverages, extracts and concentrates. Textbook. Chernihiv: NUCHK named after T.G. Shevchenko.
- Mirzoieva, T., Cherneha, I. & Zharun, O. (2025). Apple market in Ukraine: theoretical, methodological and applied aspects. *Actual Problems in Economics*, 286, 78-89. <https://doi.org/10.32752/1993-6788-2025-1-286-78-89>.
- Moldovan, C., Misca, C., Popa, V.-M., Raba, D. & Dumbrava, D. (2022). Evaluation of total polyphenols content and antioxidant activity of the chamomile beverage with different sweeteners adding. Conference: *22nd SGEM International Multidisciplinary Scientific GeoConference 2022*, 175-182. <https://doi.org/10.5593/sgem2022V/6.2/s25.24>.
- Mozaffarian, D., El-Abbadi, N. H., O'Hearn, M., Erndt-Marino, J., Masters, W. A., Jacques, P. & Micha, R. (2021). Food Compass is a nutrient profiling system using expanded characteristics for assessing healthfulness of foods. *Nature food*, 2(10), 809-818. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00381-y>.
- Nile, S. H. & Park, S. W. (2014). Edible berries: Bioactive components and their effect on human health. *Nutrition*, 30(2), 134-144.
- Ogwu, M. C., & Izah, S. C. (2025). Honey as a Natural Antimicrobial. *Antibiotics*, 14(3), 255. <https://doi.org/10.3390/antibiotics14030255>.
- Pavlenko, S., Verkhivker, Y., & Myroshnichenko O. (2021). Development of technology for production of functional fruit drinks. *Technology Audit and Production Reserves*, 4(3(60), 46–49. doi:10.15587/2706-5448.2021.237867.
- Pinto Neto, W. P., Lucena, M. C., Paixão, G. A., Sakugawa Shinohara, N. K., Pinheiro, A. K., Vicente, A. A., Souza, R. B., Morais Junior, M.A. (2025). Symbiotic honey beverages: A matrix which tells a story of survival and protection of human health from a gastronomic and industrial perspective. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 40, 101183. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2025.101183>.
- Pinto, T., Vilela, A. & Cosme, F. (2022). Chemical and sensory characteristics of fruit juice and fruit fermented beverages and their consumer acceptance. *Beverages*, 8(2), 33. <https://doi.org/10.3390/beverages8020033>.
- Repajić, M., Puškar, B., Dugalić, K., Vahčić, N., Srećec, S., Verica, D.-U., Jurkovic, Z. & Levaj, B. (2019). Quality and Sensory Study of Fresh Sour Cherry Juices Upon Cultivar, Growing Area and Weather Conditions. *Journal of Food Science*, 84. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14822>.
- Roesler, A., Rojas, N. & Falbe, J. (2021). Sugar-sweetened beverage consumption, perceptions, and disparities in children and adolescents. *Journal of nutrition education and behavior*, 53(7), 553-563. <https://doi.org/10.1016/j.jneb.2021.04.004>.
- Roger, K. A. & Judith A. N. (2022). Can ultrasound treatment replace conventional high temperature short time pasteurization of milk? A critical review. *International Dairy Journal*, 131, 105375. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105375>.
- Zheplinska, M., Mushtruk, M., Shablii, L., Shynkaruk, V., Slobodyanyuk, N., Rudyk, Ya., Chumachenko, I., Marchyshyna, Ye., Omelian, A. & Kharsika, I. (2022). Development and shelf-life assessment of soft-drink with honey. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 16, 114-126. <https://doi.org/10.5219/1738>.
- Zheplinska, M. M., Mushtruk, M. M., Vasylyv, V. P., & Gorenkov, K. V. (2023). Beverages using extracts of medicinal plant raw materials. *Health of Man and Nation*, 1, 37-48. <https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2023.37>.
- Zheplinska, M., Vasylyv, V., Gorenkov, K., & Zubar, N. (2025). Study of the influence of the extraction process on macroelements and organic acids from extracts of medicinal plant raw materials. *Health of Man and Nation*, 3(1), 50-60. <https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2025.50>.

Отримано 13.11.2025 р., прийнято до друку 21.01.2026 р.

УДК 612.017:616.3:637.146.34

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.17>

ВПЛИВ СПОЖИВАННЯ ПРОБІОТИЧНОГО ЙОГУРТУ «КАРПАТСЬКИЙ» НА ПРОЯВИ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ШЛУНКОВО-КИШКОВИХ РОЗЛАДІВ

Олег Віталійович Швець

кандидат медичних наук

<https://orcid.org/0000-0002-1434-4344>

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, вул. Героїв Оборони 15, м. Київ, Україна.*

Лариса Вацлавівна Баль-Прилипко

доктор технічних наук

<https://orcid.org/0000-0002-9489-8610>

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, вул. Героїв Оборони 15, м. Київ, Україна.*

Олександр Аркадійович Мартинчук

кандидат медичних наук

<https://orcid.org/0000-0002-8575-5589>

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, вул. Героїв Оборони 15, м. Київ, Україна.*

Анотація. Функціональні шлунково-кишкові розлади, які також йменують розладами взаємодії головного мозку з шлунково-кишковим трактом, є досить поширеним станом, що має безпосередній вплив на повсякденну активність, тому потребують безпечних і прийнятних для тривалого застосування немедикаментозних підходів. Перспективним напрямом реалізації такого підходу є використання пробіотичних йогуртів як матриці для доставки живих культур із потенціалом модифікації кишкової мікробіоти.

Метою роботи було оцінити вплив двох видів питного йогурту, виготовлених із застосуванням закваски «*Carpathicus*» (йогурту без цукру та безлактозного йогурту), на інтенсивність проявів функціональні шлунково-кишкові розлади. У дослідження включили 60 дорослих добровольців із симптомами, що відповідали легким або помірним функціональні шлунково-кишкові розлади. Учасників методом випадкового розподілу поділили на дві рівні групи, які впродовж 30 днів двічі на добу споживали відповідний продукт. Вираженість симптомів оцінювали за шкалою IBS-SSS на 0, 10, 20 та 30-й день.

В обох групах зафіксовано достовірне зниження сумарного балу IBS-SSS ($p < 0,001$) із дуже великим розміром ефекту (Cohen's $d > 1,7$) та досягненням ремісії (< 75 балів) у 33,3 % учасників. Безлактозний варіант йогурту демонстрував тенденцію до більшого абсолютного зниження показника IBS-SSS, однак міжгруповий аналіз Δ (D30–D0) не виявив статистично значущих відмінностей ($t = 1,83$; $p = 0,072$).

Отримані результати свідчать про те, що щоденне споживання йогуртів на основі закваски «*Carpathicus*» асоційоване зі значним полегшенням симптомів функціональні шлунково-кишкові розлади та може розглядатися як перспективна дієтична стратегія, яка потребує подальшого вивчення у розширених рандомізованих дослідженнях.

Ключові слова: синдром подразненого кишечника, пробіотичні культури, ферментовані молочні напої, інтервенційне дослідження, IBS-SSS.

UDC 612.017:616.3:637.146.34

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.17>

THE IMPACT OF CONSUMING «KARPATSKY» PROBIOTIC YOGURT ON SYMPTOMS OF FUNCTIONAL GASTROINTESTINAL DISORDERS

Oleg Shvets

Candidate of Medical Sciences

<https://orcid.org/0000-0002-1434-4344>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine Heroiv Oborony Str.15, Kyiv, Ukraine, 03041

Larysa Bal-Prylypko

Doctor of Technical Sciences

<https://orcid.org/0000-0002-9489-8610>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine Heroiv Oborony Str.15, Kyiv, Ukraine, 03041

Oleksandr Martynchuk

Candidate of Medical Sciences

<https://orcid.org/0000-0002-8575-5589>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine Heroiv Oborony Str.15, Kyiv, Ukraine, 03041

Abstract. Functional gastrointestinal disorders, which are also called Disorders of GUT-brain interactions, are common conditions that significantly affect daily functioning and often require safe, non-pharmacological strategies suitable for long-term use. One promising approach involves probiotic yogurts, which may serve as an effective matrix for delivering live cultures with the potential to modulate the gut microbiota.

This study aimed to evaluate the impact of two types of drinking yogurts produced with the “*Carpathicus*” starter culture (sugar-free and lactose-free) on the intensity of FGID symptoms. Sixty adult volunteers with mild to moderate FGID symptoms were enrolled and randomly assigned to two equal groups. Participants consumed the allocated yogurt twice daily for 30 days. Symptom severity was assessed using the IBS-SSS questionnaire on days 0, 10, 20, and 30.

Both groups demonstrated a significant reduction in total IBS-SSS scores ($p < 0.001$) with very large effect sizes (Cohen’s $d > 1.7$), and 33.3% of participants in each group achieved remission (<75 points) by day 30. Although the lactose-free yogurt group showed a tendency toward a greater absolute reduction in symptom severity, the between-group comparison of Δ (D30–D0) did not reach statistical significance ($t = 1.83$; $p = 0.072$).

These findings indicate that daily consumption of yogurts made with the “*Carpathicus*” starter culture is associated with a substantial improvement in FGID symptoms and may represent a promising dietary strategy. Further randomized studies with an expanded design are warranted to confirm and extend these results.

Keywords: irritable bowel syndrome, probiotic cultures, fermented dairy, intervention study, IBS-SSS.

ВСТУП. Функціональні порушення з боку травної системи належать до найпоширеніших хронічних станів у гастроентерології та характеризуються значним впливом на якість життя пацієнтів. Так, глобальне дослідження Rome Foundation показало,

що у відповідності до критеріїв Rome IV приблизно у 40% дорослого населення світу виявляється принаймні один ФШКР. Це супроводжується суттєвим зниженням якості життя та зростанням витрат на охорону здоров'я (Sperber et al., 2021). Найвідомішим розладом в структурі ФШКР є синдром подразненого кишечника (СПК). Мета-аналіз популяційних досліджень продемонстрував поширеність СПК на рівні 3,8% за критеріями Rome IV та близько 9% за Rome III, із вираженою міжрегіональною варіабельністю (Oka et al., 2020). Типові симптоми включають хронічний абдомінальний біль, здуття, зміни частоти та консистенції випорожнень, а також високу частку психоемоційних коморбідностей (Goodoory et al., 2023). Така комбінація частоти, хронічності та впливу на щоденне функціонування формує значний клінічний та соціально-економічний тягар.

Сучасні моделі патофізіології ФШКР/СПК розглядають ці стани як результат багатофакторної взаємодії порушень моторики, вісцеральної гіперчутливості, змін бар'єрної функції слизової оболонки травної системи, імунної активації низького ступеня та дисфункції на рівні осі кишечник–мозок. Проте центральну роль у цій концепції відіграє саме кишкова мікробіота. Так, огляди останніх років підкреслюють асоціацію між дисбіозом, зміною профілю коротколанцюгових жирних кислот, активацією мукозальної імунної відповіді та появою/персистенцією симптомів ФШКР (Zhang et al., 2022; Zeng et al., 2025; Goodoory et al., 2023). Дисбаланс мікробіоти та її метаболітів розглядають як один із ключових механізмів, що поєднує периферичні (ентеральна нервова система, імунітет, бар'єрна функція) і центральні (обробка больових сигналів, стрес-реакція) ланки осі кишечник–мозок (Zhang et al., 2022; Huang et al., 2023).

На цьому тлі логічною мішенню таргетного втручання стають стратегії, спрямовані на модифікацію мікробіоти. За останні роки накопичено значний масив даних щодо застосування пробіотиків. Мета-аналіз та систематичний огляд, проведені Zhang et al. (2022), які включали рандомізовані контрольовані дослідження зі штамспецифічною оцінкою, продемонстрували, що окремі штами *Bacillus coagulans*, *Clostridium butyricum*, *Bifidobacterium longum* та *Saccharomyces cerevisiae* можуть полегшувати глобальні симптоми та зменшувати абдомінальний біль при різних типах ФШКР порівняно з плацебо, проте слід зважати на те, що гетерогенність між окремими дослідженнями була досить високою (Huang et al., 2023).

Трирівневий мета-аналіз (Chen et al., 2023) підтвердив загальне, але помірне зниження ступеня важкості симптомів СПК під впливом пробіотиків, із суттєвою варіабельністю ефекту між окремими штамми та їх поєднаннями (Chen et al., 2023). Оновлений систематичний огляд Goodoory et al. (2023) продемонстрував, що певні комбінації та окремі штами (зокрема *Escherichia coli* та окремі *Lactobacillus/Bifidobacterium*) асоціюються з покращенням глобальних проявів та болю, проте за критеріями GRADE рівень упевненості у доказах для більшості порівнянь залишався низьким або дуже низьким (Wu et al., 2024). Мета-аналіз, проведений Wu et al. (2024), в якому проводилось порівняння ефективності застосування пробіотиків, пребіотиків, синбіотиків та трансплантації фекальної мікробіоти, підтвердив помірну ефективність пробіотиків у полегшенні симптомів СПК, але знову ж таки зазначив високу гетерогенність та брак даних для чіткої штамспецифічної стратифікації (Zeng et al., 2025).

Останніми роками все більше уваги приділяється ролі не тільки самих пробіотиків, а й матриць (носіїв), що використовуються як засіб доставки до відповідних відділів травної системи. Так, ферментовані харчові продукти, зокрема ферментовані молочні напої та йогурт, розглядаються як зручний та фізіологічний носій пробіотичних культур. Нещодавній систематичний огляд і мета-аналіз рандомізованих контрольованих

досліджень ферментованих продуктів харчування при СПК продемонстрував, що певні ферментовані молочні продукти здатні покращувати глобальні симптоми та абдомінальний біль у частини пацієнтів, однак результати суттєво відрізняються між дослідженнями, а якість доказів залишається обмеженою (Bui & Marco, 2025). Окремі рандомізовані контрольовані дослідження (РКД) із використанням пробіотичного йогурту підтверджують потенційну клінічну значущість такого підходу: у дослідженні Yamada et al. (2024) щоденне вживання йогурту, ферментованого *Lactobacillus paragasseri* OLL2716, впродовж 12 тижнів призвело до зменшення вираженості шлункового дискомфорту та одночасного покращення показників психоемоційного стану у дорослих із функціональними гастродуоденальними скаргами. Водночас рандомізоване дослідження Ünsal et al. (2024) у жінок із СПК із переважанням запорів показало, що додавання пробіотичного йогурту на фоні дієти при закрєпі не призвело до суттєвих змін рівня сироваткового зонуліну як маркера цілісності кишкового бар'єра, що підкреслює неоднорідність ефектів різних продуктів та кінцевих точок.

Таким чином, сучасні дані свідчать, що ФШКР є надзвичайно поширеними та клінічно значущими станами, які вимагають пошуку та оцінки можливостей використання нових безпечних стратегій корекції (Sperber et al., 2021; Oka et al., 2020; Goodoory et al., 2023). В цьому сенсі кишкова мікробіота може розглядатись як важлива терапевтична мішень з доведеною, але штам специфічною ефективністю пробіотиків (Chen et al., 2023; Wu et al., 2024; Zeng et al., 2025).

Враховуючи значення харчових матриць та необхідність дотримання комплаєнтності для тривалого застосування подібної дієтичної стратегії, ферментовані молочні продукти, зокрема йогурт, можуть бути ефективним та прийнятним способом доставки пробіотичних культур (Kaur et al., 2022; de Souza et al., 2024; Bui & Marco, 2025). Водночас у наявній літературі відсутні дані щодо клінічної ефективності йогурту, ферментованого закваскою *Carpathicus*, при ФШКР. Це створює певну прогалину при вивченні можливостей застосування подібних продуктів серед населення України, що має прояви ФШКР.

Обґрунтуванням для проведеного нами дослідження була гіпотеза, що цільовий пробіотичний йогурт на основі закваски «*Carpathicus*» може модулювати дисбіоз та низькоградієнтне запалення слизової, асоційованих із проявами ФШКР. У свою чергу це може призвести до зменшення клінічної вираженості відповідних функціональних симптомів.

Мета дослідження – вивчити та оцінити динаміку інтенсивності основних проявів функціональних шлунково-кишкових розладів на фоні вживання двох видів йогуртів («Карпатського питного йогурту без цукру» та «Карпатського питного безлактозного йогурту»), виготовлених із застосуванням йогуртної закваски «*Carpathicus*», яка містить пробіотичні штами *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*, *Enterococcus carpathicus*, впродовж 30 днів двома групами добровольців, які регулярно або періодично повідомляють про симптоми порушень травлення, що негативно впливають на якість життя.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ. Матеріалом дослідження були персональні дані, отримані від учасників у процесі виконання протоколу дієтичної інтервенції. Оцінку вираженості ФШКР проводили на основі суб'єктивних проявів, про які повідомляли учасники під час заповнення анкет.

Для кількісної оцінки клінічних проявів використовували валідований опитувальник IBS-SSS (Irritable Bowel Syndrome – Severity Scoring System), що дозволяє визначати

сумарний показник тяжкості симптомів. Анкетування здійснювали на початку спостереження, а також у динаміці – на 10-й, 20-й та 30-й день дослідження. На підставі аналізу даних кожної анкети розраховували сумарний бал IBS-SSS та визначали відповідний ступінь тяжкості функціональних розладів.

Отримані результати групувались у вигляді таблиць з подальшою кількісною обробкою. Для опису вибірок використовували середні значення, стандартні відхилення, медіани та діапазони показників, що дозволяло охарактеризувати як загальну тенденцію, так і варіативність індивідуальних відповідей.

Статистичну оцінку змін показників у межах кожної групи проводили із застосуванням парного t-критерію Стьюдента. Для порівняння величини змін сумарного балу IBS-SSS між групами використовували незалежний t-тест, аналізуючи різницю між показниками на початку та наприкінці дослідження ($\Delta = D30 - D0$). Клінічну значущість виявлених змін додатково оцінювали за величиною розміру ефекту (Cohen's d). Обробку даних здійснювали з використанням загальноприйнятих методів медико-біологічної статистики.

Дизайн дослідження:

Методом випадкової вибірки добровольців – учасників дослідження було розподілено до однієї з двох груп: I група - 30 учасників вживали йогурт без цукру; II група – 30 учасників вживали безлактозний йогурт.

- Кожний учасник дослідження послідовно отримав три десятиденних набори продукту (дві пляшечки йогурту по 300 мл на день, тобто всього двадцять пляшечок в наборі і шістдесят на все дослідження).
- Учасники відповідної групи споживали свій різновид йогурту двічі на день, у зручний для них час кожний день протягом всього дослідження.
- Перед початком дослідження, на 10-й, 20-й дні та після закінчення дослідження учасники заповнювали анкету для оцінки інтенсивності проявів ФШКР з метою визначення динаміки змін ключових симптомів: болю, здуття живота, частоти та консистенції випорожнень (рис.1).

Учасники дослідження

У дослідженні взяли участь особи, які відповідали зазначеним нижче критеріям.

Критерії включення:

- вік старше 18 років;
- наявність одного або декількох симптомів функціональних розладів травлення: періодичний дискомфорт та негострий біль у животі, здуття живота, збільшення виділення кишкового газу, зміна частоти і консистенції випорожнень кишечника;
- підписана інформована згода учасника дослідження.

У дослідженні не могли взяти участь суб'єкти, які мали принаймні один із перерахованих критеріїв виключення.

Критерії виключення:

- вік старше 65 років;
- наявність «гострого» болю у животі;
- наявність симптомів, які можуть свідчити про наявність небезпечних захворювань: ненавмисна втрата ваги, анемія, лихоманка, нудота з блюванням, дисфагія, пальпація об'ємних утворень у черевній порожнині;
- ознаки кишкової непрохідності;
- наявність каменів у жовчному міхурі;
- запальні захворювання кишечника та інших органів травної системи;

- вагітність і період лактації;
- наявність алергії на білок коров'ячого молока.

ОПИТУВАЛЬНИК ДЛЯ ОЦІНКИ ВИРАЖЕНОСТІ ПРОЯВІВ ФУНКЦІОНАЛЬНОГО РОЗЛАДУ ТРАВЛЕННЯ

Загальна частина
 Ім'я та прізвище учасника _____
 Дата народження (вік) ____ Стать _____
 Телефон _____ Мейл _____

Інструкція
 Цей опитувальник призначений для оцінки та моніторингу важкості проявів вашого функціонального розладу травлення. Ймовірно, що симптоми можуть змінювати інтенсивність, тому просимо вказати як ви себе почуваете останнім часом, тобто в останні 10 днів.

- Для запитань, в яких передбачено декілька відповідей, обведіть ту з них, що найбільше відповідає вашому стану.
- На деякі із запитань необхідно надати письмову відповідь.
- В інших питаннях може бути необхідним поставити хрестик на лінії, щоб відобразити інтенсивність симптому.

Наприклад: Наскільки вираженим є ваш біль?
 Будь ласка на малюючі хрестик у тому місці на лінії 0%-100%, яке найбільше відповідає інтенсивності вашого болю. У цьому прикладі інтенсивність становить 90%.

0% |-----| 100%
 немає болю незначний біль досить важкий біль важкий біль дуже важкий біль

Оцінка динаміки проявів:
 Для порівняння збереження/зниження проявів протягом дослідження просимо провести самооцінку симптомів у день перед початком вживання досліджуваного продукту (1), через 10 днів після початку вживання (10), через 20 днів (20), та після закінчення вживання (30).

Оцінка швидкості впливу продукту, який досліджується:
 Будь ласка впишіть у кінці опитувальника три параметри: а) через скільки хвилин після вживання продукту послаблювався біль і здуття.

0% |-----| 100%
 повністю задоволений переважно задоволений незадоволений надто незадоволений

4. Будь ласка позначте хрестиком наскільки ваш функціональний розлад травлення в цілому впливає на вашу якість життя

0% |-----| 100%
 не впливає неістотно впливає істотно впливає значно впливає

Важкість розладу - загальна кількість балів: _____ (максимум 500 б)

II Оцінка функціонування кишечника

5. а) Яку найбільшу кількість випорожнень кишечника ви маєте на день/тиждень/місяць?
 Кількість випорожнень на день/тиждень/місяць (відповісте обвести)

б) Яку найменшу кількість випорожнень кишечника ви маєте на день/тиждень/місяць?
 Кількість випорожнень на день/тиждень/місяць (відповісте обвести)

У деяких випадках відповіді на запитання а) та б) можуть бути однаковими

6. Чи помічали/відчували ви: *Обведіть потрібне*

- домішки слизу у фекаліях Так Ні
- домішки крові у фекаліях Так Ні
- невідкладні позиви на випорожнення кишечника Так Ні
- напруження при випорожненні кишечника Так Ні
- відчуття неповного випорожнення кишечника Так Ні

7. Чи були у вас випадки, коли

- біль у животі супроводжувався частими, неоформленими випорожненнями кишечника Так Ні
- біль проходив/полегшувався після випорожнення Так Ні

I Оцінка важкості симптомів

1. а) чи турбує вас у теперішній час біль у животі? Так Ні

б) якщо «Так», то наскільки вираженим є біль?
 0% |-----| 100%
 немає болю незначний біль досить важкий біль важкий біль дуже важкий біль

в) будь ласка зазначте скільки днів за останні 10 днів вас турбував біль
 наприклад, якщо ви впишете «4», то це буде означати, що протягом останніх десяти днів чотири дні вас турбував біль у животі. При щоденному болю слід вписати «10».

Кількість днів з болем Поміркується на 10

г) локалізація:

Права сторона |-----| Ліва сторона

Позначте хрестиком локалізацію болю. Хрестиком може бути декілька

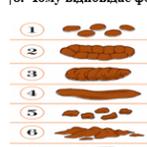


2. а) чи турбує вас у теперішній час здуття живота (його розтягнення чи напруження)?
 просяння газом не включають періодичне здуття, яке випає під час місячних

б) якщо так, то наскільки вираженим є здуття?
 0% |-----| 100%
 немає здуття незначне здуття досить виражене здуття виражене здуття надто виражене здуття

3. Наскільки ви задоволені функціонуванням вашого кишечника?

8. Чому відповідає форма ваших випорожнень?



Часто/іноді/ніколи
 Часто/іноді/ніколи
 Часто/іноді/ніколи
 Часто/іноді/ніколи
 Часто/іноді/ніколи
 Часто/іноді/ніколи
 Часто/іноді/ніколи

Обвести відповідну частоту

Рисунок 1. Опитувальник IBS-SSS - анкета учасника дослідження, яка заповнювалась на 0, 10, 20 та 30-й дні дослідження

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Наявність або відсутність ефекту від вживання йогуртів, виготовлених на заквасці «Carpathicus» із вмістом пробіотичних бактерій *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*, *Enterococcus*

carpaticus оцінювалась за динамікою інтенсивності проявів функціональних розладів травлення у кожного учасника. Чотири заповнені анкети (0, 10-й, 20-й та 30-й дні дослідження) були джерелом інформації про зміни у стані учасників відповідно до самостійної оцінки вираженості наявних симптомів. Загалом було зібрано 120 анкет у кожній дослідницькій групі.

Гендерні та статеві особливості досліджуваних груп були співставними. Група I (учасники, які споживали йогурти без цукру): розмір групи – 30 осіб, чоловіків – 12 учасників; жінок – 18 учасниць; середній вік склав - 33,3 роки. Група II (учасники, які споживали безлактозні йогурти): розмір групи – 30 осіб, чоловіків – 8 учасників; жінок – 22 учасниці; середній вік склав - 34,01 роки.

Оцінка вираженості проявів функціональних розладів травлення

Сучасні можливості об'єктивної оцінки таких проявів, як абдомінальний біль та дискомфорт, здуття живота, збільшення виділення кишкового газу, порушення частоти і консистенції випорожнень, лишаються обмеженими.

Тому дослідження ефективності запобігання та лікування функціональних захворювань переважно базуються на вивченні динаміки суб'єктивних проявів, отриманих від учасників дослідження.

У цьому дослідженні було використано IBS-SSS – Irritable Bowel Syndrome – Severity Scoring System (рис. 1) - валідований опитувальник, що найбільше застосовується у спостереженнях, які проводяться з метою оцінки ефективності різноманітних інтервенцій для полегшення функціональних кишкових симптомів (Francis et al., 1997).

Кожний учасник дослідження надіслав на повідомлену адресу електронної пошти чотири анкети із самостійно заповненою інформацією, відповідно наданих перед початком дослідження інструкцій. Авторами дослідження було пораховано вираженість окремих симптомів та сума важкості проявів функціонального розладу травлення у балах відповідно до ступенів, які зазначено у табл. 1.

Таблиця 1. Важкість функціональних симптомів за результатами опрацювання опитувальника IBS-SSS

Кількість балів	Ступінь важкості розладу травлення	Кольоровий відповідник у таблиці результатів
75 – 175	Легкі прояви ФШКР	
175 – 300	Прояви ФШКР середньої важкості	
300 – 500	Важкі прояви ФШКР	

Максимальна можлива сумарна оцінка дорівнювала 500 балам. Сума менша за 75 балів відповідала ремісії ФШКР, тобто відсутності стабільних і достатньо виражених симптомів, які б суттєво погіршували якість життя. У відповідності до цієї шкали визначалась тяжкість симптомів ФШКР як на старті дослідження, так і в динаміці, що допомагало провести кількісну інтерпретацію змін у відповідь на харчову інтервенцію у вигляді включення йогурту до меню.

Отримані від учасників дані були систематизовані у вигляді таблиць. Зокрема, табл. 2 відображає індивідуальні значення сумарного балу IBS-SSS у учасників групи I на всіх етапах дослідження: перед початком інтервенції (D0), на 10-й і 20-й днях споживання

«Карпатського питного йогурту без цукру» (Д10 та Д20), а також після завершення 30-денного періоду вживання продукту (Д30).

Таблиця 2. Динаміка проявів ФШКР у учасників групи I, які споживали «Карпатський питний йогурт без цукру», за даними опитувальника IBS-SSS

№ уч.	Д0	Д10	Д20	Д30	№ уч.	Д0	Д10	Д20	Д30
01	120	100	80	80	16	190	210	170	140
02	140	140	110	110	17	100	100	70	50
03	200	200	100	70	18	150	160	120	120
04	100	120	110	50	19	150	140	120	80
05	100	100	100	50	20	100	140	130	90
06	120	110	100	100	21	200	100	100	90
07	190	170	150	130	22	160	160	180	120
08	220	200	150	140	23	200	200	180	130
09	200	220	190	140	24	170	170	120	130
10	130	120	120	70	25	190	200	130	120
11	100	100	80	80	26	100	100	80	70
12	190	190	150	120	27	100	100	50	50
13	90	80	80	70	28	150	150	100	90
14	240	190	150	130	29	200	180	130	100
15	130	100	100	90	30	190	120	140	100

Примітка: № уч. – номер учасника дослідження; Д0 – перед початком дослідження; Д10 – десятий день дослідження; Д20 – двадцятий день дослідження; Д30 – після завершення дослідження.

Джерело: розроблено автором

Дані, отримані від учасників групи II, були систематизовані за попереднім принципом, після чого внесені до табл. 3. У ній подано індивідуальні значення сумарного балу IBS-SSS, отримані з анкет, заповнених учасниками перед початком дослідження (Д0), на 10-й та 20-й днях споживання «Карпатського питного безлактозного йогурту» (Д10 і Д20), а також після завершення 30-денного періоду інтервенції (Д30).

Таблиця 3. Динаміка проявів ФШКР у учасників групи II, які споживали «Карпатський питний безлактозний йогурт», за даними опитувальника IBS-SSS.

№ уч.	Д0	Д10	Д20	Д30	№ уч.	Д0	Д10	Д20	Д30
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
01	80	80	30	30	16	250	150	100	100
02	120	120	100	80	17	100	80	60	60
03	180	200	120	120	18	190	120	100	90
04	100	100	80	30	19	120	100	100	90
05	120	120	100	90	20	90	80	70	50
06	170	150	150	120	21	180	130	120	100
07	180	100	100	90	22	200	160	150	120
08	100	150	70	50	23	120	80	70	60

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
09	100	100	50	50	24	300	200	100	70
10	200	180	150	100	25	100	90	90	50
11	120	150	110	100	26	120	70	70	50
12	230	120	120	120	27	170	150	110	100
13	200	160	130	130	28	150	140	100	90
14	150	140	90	60	29	200	180	150	130
15	150	150	100	100	30	300	150	100	70

Примітка: № уч. – номер учасника дослідження; Д0 – перед початком дослідження; Д10 – десятий день дослідження; Д20 – двадцятий день дослідження; Д30 – після завершення дослідження.

Джерело: розроблено автором

Зведена оцінка отриманих результатів представлена табл. 4. Отримані результати свідчать про те, що учасники обох груп на старті мали велику варіативність проявів, що в середньому відповідала рівню легких проявів ФШКР (≈ 150 балів).

Таблиця 4. Узагальнені показники тяжкості симптомів ФШКР у двох групах за сумарним індексом IBS-SSS на різних етапах інтервенції.

Показник	D0	D10	D20	D30
Група I (йогурт без цукру)				
Середнє (M \pm SD)	151.3 \pm 50.0	142.7 \pm 47.1	118.0 \pm 32.8	95.3 \pm 31.4
Медіана	130	120	110	90
Діапазон	90–240	80–220	80–190	50–140
Група II (безлактозний йогурт)				
Середнє (M \pm SD)	146.7 \pm 45.1	134.7 \pm 32.9	100.0 \pm 33.4	84.7 \pm 33.4
Медіана	150	140	100	90
Діапазон	80–230	80–200	30–150	30–130

Примітка: Наведено середні значення (M \pm SD), медіани та діапазони сумарного балу IBS-SSS на етапах Д0, Д10, Д20 та Д30 для груп I та II.

Джерело: розроблено автором

В результаті застосування відповідних інтервенцій до 30-го дня середній бал зменшився на $\sim 37\%$ у групі I і на $\sim 42\%$ у групі II. Це свідчить про значний позитивний ефект обох продуктів. Незважаючи на те, що загалом група II демонструє більшу абсолютну величину зниження сумарного балу IBS-SSS, однак такі відмінності не можна інтерпретувати однозначно без відповідного статистичного підтвердження. Разом зі зменшенням середнього балу IBS-SSS спостерігалось й зменшення стандартного відхилення, що вказує на більш однорідну відповідь учасників на проведену інтервенцію. Це свідчить про те, що більшість респондентів демонстрували покращення у схожому напрямку та масштабі, без значних коливань або протилежних реакцій, що додатково проілюстровано на рис. 2. На цьому рисунку Voxplot-и відображають медіану, міжквартильний діапазон, мінімальні та максимальні значення, а також середні показники (позначені маркером). У обох групах на етапі D30 спостерігається зниження як загальних

проявів, так і ширини діапазону цих значень порівняно з D0, що свідчить не лише про зменшення ступеню важкості симптомів, але й про більш однорідну відповідь більшості учасників на інтервенцію.

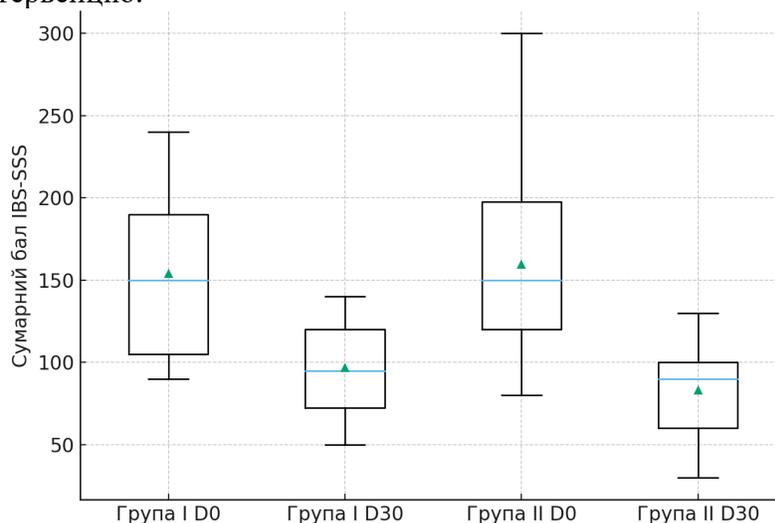


Рисунок 2. Розподіл індивідуальних значень сумарного балу IBS-SSS у групах I та II на початку (D0) та в кінці (D30) дослідження.

Джерело: розроблено автором

В подальшому нами була проведена статистична оцінка змін в середині кожної з підгруп, результати якої представлено у табл. 5.

Таблиця 5. Результати внутрішньогрупового статистичного аналізу змін індексу IBS-SSS у групах I та II

Показник	Група I (йогурт без цукру)	Група II (безлактозний йогурт)
t-критерій (парний t-test)	6.77	9.25
p-value	< 0.001	< 0.001
Розмір ефекту (Cohen's d)	1.75 (дуже великий ефект)	2.39 (дуже великий ефект)
Частка ремісій (<75 балів на D30)	33.3%	33.3%

Примітка: Подано значення парного t-критерію, p-value, величини ефекту (Cohen's d) та частки учасників, які досягли ремісії (<75 балів) на D30.

Джерело: розроблено автором

З наведених даних ми бачимо, що в межах кожної групи формувалось статистично значуще зниження ступеня тяжкості симптомів ($p < 0.001$) та дуже великі розміри ефекту Cohen ($d > 1.7$), що свідчить про клінічну значущість покращення. Значення t-критерію на рівні $t = 6.77$ та $t = 9.25$ відповідно, підтверджують значущість внутрішньогрупових ефектів. Частка ремісій була однаковою (33.3%) у двох групах, що вказує на подібну ефективність обох видів йогурту на рівні клінічних результатів. Таким чином, внутрішньогруповий аналіз демонструє, що обидва види йогурту – як без цукру, так і безлактозний – забезпечують виражене та клінічно значуще покращення симптомів ФШКР впродовж 30

днів. Отримані показники свідчать про стабільний позитивний ефект у межах кожної групи та не виявляють переваги одного продукту над іншим на рівні індивідуальних клінічних результатів. Цей проміжний висновок ми перевірили статистично, провівши міжгрупове порівняння зміни загального показника IBS-SSS табл. 6.

Таблиця 6. Міжгрупове порівняння зміни загального показника IBS-SSS ($\Delta = D30 - D0$) між учасниками, які споживали звичайний та безлактозний йогурти *Carpaticus*

Показник	Група I	Група II	Міжгруповий тест
Mean Δ	-57.0	-76.3	–
SD Δ	29.38	49.79	–
Median Δ	-50	-65	–
t-test (ΔI vs ΔII)	–	–	t = 1.83, p = 0.072

Примітка: У таблиці представлено середні значення, стандартні відхилення та медіани індивідуальної зміни сумарного балу IBS-SSS (Δ) у двох дослідницьких групах. Негативні значення Δ відображають зменшення тяжкості симптомів між початком (D0) та завершенням (D30) дослідження. Для оцінки міжгрупових відмінностей було проведено незалежний t-тест для порівняння Δ між групами.

Джерело: розроблено автором

Результати проведеного аналізу дали нам об'єктивні підстави стверджувати, що в обох групах спостерігається виражене зниження ступеню важкості симптомів, більш значне для групи II (безлактозний йогурт). Незважаючи на таку тенденцію і формування уявлення про те, що застосування безлактозного йогурту є більш ефективним, міжгрупове порівняння не виявило статистично значущої різниці (t = 1.83, p = 0.072), що наглядно демонструє рис. 3.

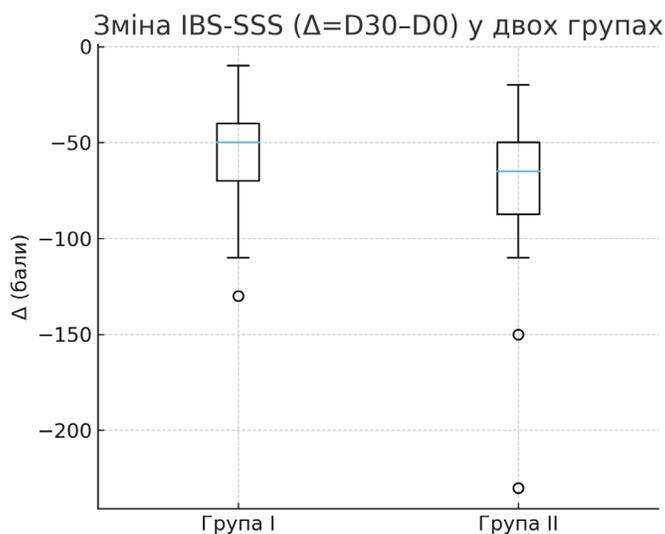


Рисунок 3. Розподіл індивідуальних змін показника IBS-SSS (Δ) у двох групах

Джерело: розроблено автором

Таким чином, ми бачимо, що при порівняльному аналізі результатів застосування двох типів йогуртів лише спостерігається загальний тренд щодо збільшення ефективності

застосування безлактозного варіанту йогурту, хоча обидва види інтервенції демонструють співставну ефективність із статистично незначущими відмінностями.

Результати цього дослідження підтверджують, що щоденне споживання йогурту, ферментованого із закваскою «*Carpaticus*», супроводжується достовірним зниженням тяжкості симптомів ФШКР. Ми бачимо, що вже через 30 днів основний показник оцінки ступеня важкості ФШКР (середній індекс IBS-SSS) зменшився більш ніж на третину в обох групах. Величина ефекту за показником Cohen's d (>1.7) свідчить, що більшість учасників дослідження має не просто покращення, а клінічно значущі зміни свого стану. В той же час ми спостерігали схожий рівень частоти ремісій (33,3%) у групах, що споживали як звичайний, так безлактозний йогурт, що свідчить про співставну ефективність обох варіантів продукту.

Отримані нами результати узгоджуються з попередніми спостереженнями та їх висновками відносно того, що ферментовані молочні продукти, зокрема йогурти, можуть модулювати симптоми ФШКР через вплив на мікробіоту кишечника та імунні механізми. Так зокрема, у мета-аналізі Zeng et al. (2025) було підтверджено загальну ефективність пробіотиків у зниженні тяжкості симптомів при різних ФШКР, хоча автори підкреслюють високу гетерогенність і штамоспецифічність результатів. Огляд Tziatzios et al. (2023) також свідчить, що окремі штами *Lactobacillus* і *Bifidobacterium* можуть позитивно впливати на вісцеральну чутливість, моторну активність та сприйняття болю у пацієнтів із функціональною диспепсією. Подібні спостереження описані в дослідженні Le Roy et al. (2022), яке показало, що регулярне споживання йогурту, виготовленого з традиційними культурами *L. delbrueckii subsp. bulgaricus* та *Streptococcus thermophilus*, асоціюється зі змінами складу кишкової мікробіоти та подальшими системними ефектами. Наше дослідження доповнює ці дані, оскільки демонструє позитивний вплив продукту, виготовленого з використанням української закваски «*Carpaticus*», яка, крім класичних культур, містить *Enterococcus carpaticus* – штам із потенційною пробіотичною активністю.

Важливо, що подібні ефекти продемонстровано не лише для окремих пробіотичних штамів, але й для ферментованих молочних продуктів як харчових матриць, здатних модулювати мікробіом і фізіологічні функції кишечника. Накопичено дані, що ферментовані молочні продукти як харчова матриця можуть модулювати склад кишкової мікробіоти, покращувати бар'єрну функцію, стимулювати продукцію коротколанцюгових жирних кислот та впливати на імунний статус. Крім того, широкомасштабне дослідження (Taylor et al., 2020) показало, що постійні споживачі ферментованих продуктів мають змінений метаболізм та мікробіом у бік, який асоціюється з більшою стабільністю/балансом, ніж не-споживачі.

Йогурти є зручним, безпечним і фізіологічно привабливим засобом доставки пробіотиків. Згідно з даними de Souza et al., (2024), технологічні переваги йогуртових матриць полягають у створенні стабільного середовища для життєздатності бактерій і взаємодії з пребіотичними компонентами, що підсилює їхню активність у просвіті кишечника. Подібні концепції підтверджує і робота Kaur et al. (2022) де підкреслюється значення синергії між пробіотичними культурами та ферментованим молочним субстратом у формуванні функціональних властивостей харчового продукту.

Механізми подібного ефекту скоріш за все є мультифакторними та багатокомпонентними. Вони можуть включати нормалізацію кишкової мікробіоти, зміцнення бар'єрної функції слизової, зменшення проявів запалення низького рівня та вплив на ось «мікробіота–мозок», тим самим знижуючи вісцеральну гіперчутливість (Vui et al., 2025). Самі по собі нормалізація бар'єрної функції слизової оболонки кишечника,

зменшення локальної запальної активності та вплив на sIgA можуть опосередковувати полегшення симптомів (Ding et al., 2025).

Важливо відзначити, що відсутність істотної різниці на рівні ефективності застосування звичайного і безлактозного йогурту може свідчити про те, що їх клінічний ефект обумовлений не вмістом лактози, а властивостями саме бактеріальних культур. Це узгоджується з сучасною концепцією, за якою основну роль у полегшенні симптомів відіграє пробіотична активність продукту, а не особливості його нутритивного складу.

Разом із тим, слід зазначити, що наше дослідження має й певні обмеження. Зокрема це те, що вибірка була відносно невеликою, тому результати слід розглядати як попередні. Крім того, відсутність групи плацебо не дозволяє нам повністю виключити вплив психосоматичних чинників. Також нами не проводився мікробіомний аналіз калу, що обмежує можливість підтвердження ролі якісних та кількісних змін на цьому рівні. Попри це, наявність чіткої динаміки, великої величини ефекту та узгодженості з попередніми даними дозволяють вважати отримані результати обґрунтованими.

Для проведення подальших досліджень на нашу думку є необхідним розширення розміру вибірки та включення мікробіомного аналізу для підтвердження гіпотези про механізми дії. Доцільно також провести оцінку ефективності застосування йогуртів на основі закваски «*Carpaticus*» при різних фенотипах ФШКР (СПК із діареєю, запором, постпрандіальний дистрес синдром), а також у пацієнтів із непереносимістю лактози. Проведення порівняльних досліджень з іншими продуктами та комерційними штамами *Lactobacillus* можуть дати цінну інформацію для подальшої стандартизації та формування клінічних рекомендацій.

ВИСНОВКИ. Таким чином, оцінка результатів дослідження підтверджує виражений достовірний вплив на функціональні кишкові симптоми при споживанні пробіотичного йогурту «Карпатський». Отримані результати дозволяють стверджувати, що позитивна динаміка проявів ФШКР обумовлена вмістом бактеріальних культур *Lactobacillus delbrueckii subsp. bulgaricus*, *Streptococcus thermophilus*, *Enterococcus carpaticus* у складі оригінальної запатентованої закваски «*Carpaticus*». Слід розглядати проведення подальших клінічних досліджень цього продукту як потенційного функціонального продукту із пробіотичними властивостями.

Подяки. Немає.

Конфлікт інтересів. Немає.

References

- Bui G., Marco Maria L., Impact of Fermented Dairy on Gastrointestinal Health and Associated Biomarkers, *Nutrition Reviews*, 2025; nuaf114, <https://doi.org/10.1093/nutrit/nuaf114>
- Chen, M., Li, Q., Zhang, F., Wu, P., & Zheng, H. (2023). Probiotics for the management of irritable bowel syndrome: A systematic review and three-level meta-analysis. *International Journal of Surgery*, 109, 3631–3647. <https://doi.org/10.1097/JS9.0000000000000658>
- de Souza, M., Drunkler, D. A., & Colla, E. (2024). Probiotic Functional Yogurt: Challenges and Opportunities. *Fermentation*, 10(1), 6. <https://doi.org/10.3390/fermentation10010006>
- Ding, L., Li, H., & colleagues. (2025). Efficacy of fermented foods in irritable bowel syndrome: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Frontiers in Nutrition*. Advance online publication. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1494118>

- Francis, C. Y., Morris, J., & Whorwell, P. J. (1997). The irritable bowel severity scoring system: a simple method of monitoring irritable bowel syndrome and its progress. *Alimentary pharmacology & therapeutics*, 11(2), 395–402. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2036.1997.142318000.x>
- Goodoory, V. C., Khasawneh, M., Black, C. J., Quigley, E. M. M., Moayyedi, P., & Ford, A. C. (2023). Efficacy of probiotics in irritable bowel syndrome: Systematic review and meta-analysis. *Gastroenterology*, 165(5), 1206–1218. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2023.07.018>
- Huang, K.-Y., Wang, F.-Y., Lv, M., Ma, X.-X., Tang, X.-D., & Lv, L. (2023). Irritable bowel syndrome: Epidemiology, overlap disorders, pathophysiology and treatment. *World Journal of Gastroenterology*, 29(26), 4120–4135. <https://doi.org/10.3748/wjg.v29.i26.4120>
- Humblot, C., Alvanoudi, P., Alves, E., Assunção, R., Belovic, M., Bulmus-Tuccar, T., Chassard, C., Derrien, M., Karagöz, M. F., Karakaya, S., Laranjo, M., Mantzouridou, F. T., Rosado, C., Pracer, S., Saar, H., Tap, J., Treven, P., Vergères, G., Pertziger, E., & Savary-Auzeloux, I. (2025). A scoping review of the health effects of fermented foods in specific human populations and their potential role in precision nutrition: Current knowledge and gaps. *Frontiers in Nutrition*, 12, Article 1650633. <https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1650633>
- Kaur, H., Kaur, G., & Ali, S. A. (2022). Dairy-Based Probiotic-Fermented Functional Foods: An Update on Their Health-Promoting Properties. *Fermentation*, 8(9), 425. <https://doi.org/10.3390/fermentation8090425>
- Le Roy, C.I., Kurilshikov, A., Leeming, E.R. et al. (2022). Yoghurt consumption is associated with changes in the composition of the human gut microbiome and metabolome. *BMC Microbiol* 22, 39 (<https://doi.org/10.1186/s12866-021-02364-2>)
- Leeuwendaal, N. K., Stanton, C., O'Toole, P. W., & Beresford, T. P. (2022). Fermented Foods, Health and the Gut Microbiome. *Nutrients*, 14(7), 1527. <https://doi.org/10.3390/nu14071527>
- Marco, M. L., Heeney, D., Binda, S., Cifelli, C. J., Cotter, P. D., Foligné, B., Gänzle, M., Kort, R., Pasin, G., Pihlanto, A., Smid, E. J., & Hutkins, R. (2017). Health benefits of fermented foods: microbiota and beyond. *Current opinion in biotechnology*, 44, 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2016.11.010>
- Oka, P., Parr, H., Barberio, B., Black, C. J., Savarino, E. V., & Ford, A. C. (2020). Global prevalence of irritable bowel syndrome according to Rome III or IV criteria: A systematic review and meta-analysis. *The Lancet Gastroenterology & Hepatology*, 5(10), 908–917. [https://doi.org/10.1016/S2468-1253\(20\)30217-X](https://doi.org/10.1016/S2468-1253(20)30217-X)
- Shah, A.M., Tarfeen, N.; Mohamed, H., Song, Y. (2023). Fermented Foods: Their Health-Promoting Components and Potential Effects on Gut Microbiota. *Fermentation* 9, 118. <https://doi.org/10.3390/fermentation9020118>
- Sperber, A. D., Bangdiwala, S. I., Drossman, D. A., Ghoshal, U. C., Simren, M., Tack, J., Whitehead, W. E., Dumitrascu, D. L., Enck, P., Frexinos, J., Hungin, A. P. S., Kang, J. Y., Minhu, C., Schmulson, M., Whorwell, P. J., & Palsson, O. S. (2021). Worldwide prevalence and burden of functional gastrointestinal disorders, results of Rome Foundation Global Study. *Gastroenterology*, 160(1), 99–114.e3. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2020.04.014>
- Taylor, B. C., Lejzerowicz, F., Poirel, M., Shaffer, J. P., Jiang, L., Aksenov, A., Litwin, N., Humphrey, G., Martino, C., Miller-Montgomery, S., Dorrestein, P. C., Veiga, P., Song, S. J., McDonald, D., Derrien, M., & Knight, R. (2020). Consumption of Fermented Foods Is Associated with Systematic Differences in the Gut Microbiome and Metabolome. *mSystems*, 5(2), e00901-19. <https://doi.org/10.1128/mSystems.00901-19>

- Tziatzios, G., Gkolfakis, P., Leite, G., Mathur, R., Damoraki, G., Giamarellos-Bourboulis, E. J., & Triantafyllou, K. (2023). Probiotics in Functional Dyspepsia. *Microorganisms*, 11(2), 351. <https://doi.org/10.3390/microorganisms11020351>
- Ünsal, N. E., Akbulut, G., & Gülşen, M. (2024). Effects of fiber or probiotic yogurt supplementation on intestinal barrier integrity in constipation-predominant irritable bowel syndrome. *Gülhane Medical Journal*, 66(4), 176–184. <https://doi.org/10.4274/gulhane.galenos.2024.05900>
- Wu, Y., Li, Y., Zheng, Q., & Li, L. (2024). The efficacy of probiotics, prebiotics, synbiotics, and fecal microbiota transplantation in irritable bowel syndrome: A systematic review and network meta-analysis. *Nutrients*, 16(13), 2114. <https://doi.org/10.3390/nu16132114>
- Yamada, N., Kobayashi, K., Nagira, A., Toshimitsu, T., Sato, A., Kano, H., & Hojo, K. (2024). The beneficial effects of regular intake of *Lactobacillus paragasseri* OLL2716 on gastric discomfort in healthy adults: A randomized, double-blind, placebo-controlled study. *Nutrients*, 16(18), 3188. <https://doi.org/10.3390/nu16183188>
- Zeng, Q., Li, P., Wu, H., Zhuang, Y., Zhang, Y., Asemani, S., Jamilian, P., Jamali, M., & Yu, H. (2025). Probiotics and gastrointestinal disorders: an umbrella meta-analysis of therapeutic efficacy. *European journal of medical research*, 30(1), 515. <https://doi.org/10.1186/s40001-025-02788-w>
- Zhang, T., Shi, L., Ren, G., Yang, M., & Zhang, Y. (2022). Efficacy of probiotics for irritable bowel syndrome: A systematic review and network meta-analysis. *Frontiers in Cellular and Infection Microbiology*, 12, 859967. <https://doi.org/10.3389/fcimb.2022.859967>

Отримано 29.11.2025 р., прийнято до друку 11.02.2026 р.

УДК 639.21./22:597.551.4:639.381

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.32>

ХАРАКТЕРИСТИКА МІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ М'ЯСА АФРИКАНСЬКОГО КЛАРІЄВОГО СОМА (*CLARIAS GARIEPINUS*)

Ярослав Олександрович Кислиця

аспірант

<https://orcid.org/0009-0005-2223-8428>

Національний університет біоресурсів і природокористування України
03041, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна

Аліна Анатоліївна Менчинська

кандидат технічних наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0001-8593-3325>

Національний університет біоресурсів і природокористування України
03041, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна

Анотація. У статті наведено результати комплексного дослідження мінерального складу м'яса африканського кларієвого сома — *Clarias gariepinus*, вирощеного в умовах сучасної інтенсивної аквакультури. Актуальність дослідження зумовлена зростаючою роллю аквакультури у забезпеченні населення високоякісною білково-мінеральною сировиною та обмеженою кількістю наукових даних щодо мінерального профілю африканського кларієвого сома, отриманих в умовах вітчизняного рибництва. Метою дослідження було визначення та оцінка вмісту біологічно значущих макро- та мікроелементів у м'язовій тканині риби, а також аналіз внеску досліджуваної сировини у забезпечення добової потреби людини в основних мінеральних речовинах.

Об'єктом дослідження було м'ясо товарних особин африканського кларієвого сома. Визначення мінерального складу здійснювали з використанням сучасних фізико-хімічних методів аналізу після попередньої мінералізації зразків. Встановлено, що м'ясо африканського кларієвого сома характеризується збалансованим мінеральним профілем із домінуванням калію, а також наявністю магнію, кальцію та натрію у концентраціях, характерних для прісноводної риби. Серед мікроелементів виявлено залізо, цинк, мідь і марганець, які відіграють важливу роль у процесах кровотворення, антиоксидантного захисту та регуляції обміну речовин в організмі людини. Оцінка адекватного рівня споживання показала, що споживання 100 г м'яса африканського кларієвого сома забезпечує помітну частку добової потреби в окремих мінеральних елементах.

Окрему увагу приділено оцінці показників безпечності. Результати досліджень свідчать про відсутність небезпечних концентрацій токсичних елементів і низький рівень радіонуклідів у досліджуваних зразках. Таким чином, м'ясо африканського кларієвого сома може розглядатися як безпечна та перспективна рибна сировина для виробництва харчових продуктів підвищеної біологічної цінності та функціонального призначення.

Ключові слова: сом, мінеральний склад, макроелементи, мікроелементи, біологічна цінність, рибна сировина.

UDC 639.21./22:597.551.4:639.381

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.32>

CHARACTERIZATION OF THE MINERAL COMPOSITION OF AFRICAN SHARPTOOTH CATFISH MEAT (*CLARIAS GARIEPINUS*)

Yaroslav Kyslytsia

Postgraduate student

<https://orcid.org/0009-0005-2223-8428>

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv
03041, Heroiv Oborony Street, 15, Kyiv, Ukraine*

Alina Menchynska

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0001-8593-3325>

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv
03041, Heroiv Oborony Street, 15, Kyiv, Ukraine*

Abstract. The article presents the results of a comprehensive study of the mineral composition of African catfish (*Clarias gariepinus*) meat reared under modern intensive aquaculture conditions. The relevance of the study is determined by the increasing role of aquaculture in supplying the population with high-quality protein and mineral raw materials, as well as by the limited availability of scientific data on the mineral profile of African catfish produced under domestic farming conditions. The aim of the study was to determine and evaluate the content of biologically significant macro elements and microelements in the muscle tissue of African catfish and to assess the contribution of this fish's raw material to meeting the daily human requirements for essential mineral elements.

The object of the study was the meat of market-sized African catfish. The mineral composition was determined using modern physicochemical analytical methods after preliminary mineralization of the samples. The results demonstrated that African catfish meat has a balanced mineral profile, with potassium predominating, along with magnesium, calcium, and sodium at concentrations typical of freshwater fish. Among microelements, iron, zinc, copper, and manganese were identified, all of which play important roles in hematopoiesis, antioxidant protection, and the regulation of metabolic processes in the human body. Evaluation of adequate intake levels showed that consuming 100 g of African catfish meat provides a notable proportion of the daily requirement for several essential minerals.

Special attention was given to safety indicators. The obtained results indicate the absence of hazardous concentrations of toxic elements and a low level of radionuclides in the analyzed samples. Thus, African catfish meat can be considered a safe and promising raw material for the production of food products with enhanced biological value and functional properties.

Keywords: fish, mineral composition, macro elements, microelements, biological value, fish raw material.

ВСТУП. Мінеральні речовини є незамінними компонентами харчування людини, оскільки вони беруть участь у формуванні та підтриманні структурної цілісності тканин, регуляції метаболічних процесів і забезпеченні функціонування ферментних систем.

Макроелементи, зокрема кальцій, фосфор, калій, магній і натрій, відіграють ключову роль у підтриманні водно-електролітного балансу, нервово-м'язової провідності та енергетичного обміну, тоді як мікроелементи, такі як залізо, цинк, мідь і марганець, необхідні для кровотворення, імунної відповіді та антиоксидантного захисту організму (Torpe et al., 2018; FAO, 2022).

Риба та рибна продукція розглядаються як одні з найбільш цінних природних джерел мінеральних речовин із високою біодоступністю. На відміну від багатьох рослинних продуктів, мінерали рибного походження характеризуються кращим засвоєнням, що зумовлює їх важливе значення у формуванні раціонів здорового харчування та профілактиці дефіцитних станів (Béné et al., 2019). У цьому контексті розвиток аквакультури набуває стратегічного значення для забезпечення стабільного постачання якісної білково-мінеральної сировини, особливо в умовах зростання чисельності населення та обмеженості природних рибних ресурсів (FAO, 2022).

Сучасна аквакультура дозволяє контролювати умови вирощування риби, включаючи якість води, склад кормів і технологічні параметри утримання, що безпосередньо впливає на хімічний склад і харчову цінність готової продукції. Водночас численні дослідження свідчать, що навіть за контрольованих умов вирощування мінеральний склад м'язової тканини риби може істотно варіювати залежно від виду, віку, інтенсивності росту та кормової бази (Langi et al., 2024). Це зумовлює необхідність проведення видоспецифічних і регіонально орієнтованих досліджень мінерального складу рибної сировини.

Одним із найбільш перспективних об'єктів інтенсивної прісноводної аквакультури є африканський кларієвий сом – *Clarias gariepinus*. Цей вид характеризується високою швидкістю росту, адаптивністю до широкого діапазону екологічних умов, ефективним використанням кормів і стабільними показниками продуктивності, що робить його привабливим для промислового вирощування в різних країнах світу. Крім того, м'ясо африканського кларієвого сома відзначається високим вмістом повноцінного білка та відносно низьким рівнем жиру, що додатково підвищує його харчову цінність (Abdel-Mobdy et al., 2021).

Попри зростаючий інтерес до *Clarias gariepinus* як об'єкта аквакультури, більшість досліджень зосереджені на показниках росту, конверсії корму та загальному хімічному складі, тоді як дані щодо детального мінерального профілю м'язової тканини залишаються фрагментарними. Особливо обмеженою є інформація про вміст окремих макро- та мікроелементів у м'ясі африканського кларієвого сома, вирощеного в умовах контрольованих аквакультурних систем, що ускладнює об'єктивну оцінку його внеску у забезпечення добової потреби людини в мінеральних речовинах (Adeyemi et al. 2025).

Крім харчової цінності, важливим аспектом оцінки рибної сировини є її безпечність. Риба здатна акумулювати токсичні елементи та радіонукліди з водного середовища, тому мінеральний аналіз доцільно поєднувати з оцінкою вмісту потенційно небезпечних компонентів. У сучасних дослідженнях підкреслюється, що рівень накопичення важких металів у рибі суттєво залежить від екологічного стану водойм і джерел водопостачання, що особливо актуально для промислової аквакультури (Okocha et al., 2025).

З огляду на викладене, дослідження мінерального складу м'яса африканського кларієвого сома в умовах сучасної аквакультури є актуальним і науково обґрунтованим. Отримані результати мають практичне значення для оцінки харчової та біологічної цінності цієї рибної сировини, а також для формування рекомендацій щодо її використання у виробництві продуктів здорового та функціонального харчування.

Мета дослідження полягала в оцінці мінерального складу м'яса африканського кларієвого сома (*Clarias gariepinus*), відповідно до фізіологічної потреби людського організму в основних мінеральних речовинах.

Завдання:

- дослідити мінеральний склад м'яса африканського кларієвого сома, вирощеного в умовах аквакультури;
- проаналізувати ступінь забезпечення в біологічно значущих макро- та мікроелементах відповідно добової потреби організму;
- підтвердити харчову цінності та безпечність досліджуваної рибної сировини.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. Оцінка мінерального складу рибної сировини є важливою складовою досліджень, спрямованих на обґрунтування її харчової та біологічної цінності. У науковій літературі останніх років все частіше наголошується, що мінеральні елементи рибного походження відіграють ключову роль у забезпеченні фізіологічних потреб людини, а їхній вміст і біодоступність залежать від виду риби та умов її вирощування (Torre et al., 2018).

За даними FAO (2022), риба забезпечує значну частку надходження кальцію, фосфору, йоду та інших мікроелементів у раціонах населення багатьох країн. При цьому саме прісноводні види риб, вирощені в аквакультури, розглядаються як перспективне джерело мінеральних речовин завдяки можливості керування умовами їх росту та годівлі. Водночас автори підкреслюють, що мінеральний склад прісноводної риби є більш варіабельним порівняно з морськими видами, що зумовлює необхідність детальних експериментальних досліджень.

Африканський кларієвий сом (*Clarias gariepinus*) привертає значну увагу дослідників у зв'язку з його високою продуктивністю та адаптивністю. У роботі (Abdel-Mobdy et al. 2021) показано, що м'ясо цього виду характеризується високою білковою цінністю та помірним вмістом мінеральних речовин, однак автори наголошують на значних коливаннях показників залежно від умов вирощування. Подібні висновки наведено й у порівняльних дослідженнях, де аналізували мінеральний склад *Clarias gariepinus* з різних типів прісноводних екосистем (Adeyemi et al., 2025).

Огляд сучасних публікацій свідчить, що серед макроелементів у м'ясі африканського кларієвого сома найчастіше домінують калій і фосфор, тоді як магній і кальцій присутні у нижчих концентраціях. (Langi et al., 2024) у своєму огляді підкреслюють, що така структура мінерального профілю є типовою для швидкорослих прісноводних видів і тісно пов'язана з особливостями осморегуляції та енергетичного обміну.

Що стосується мікроелементів, більшість авторів відзначають наявність заліза, цинку, міді та марганцю у м'ясі *Clarias gariepinus* у фізіологічно значущих кількостях. Зазначають, що ці елементи роблять істотний внесок у харчову цінність прісноводної риби, однак їхній рівень значною мірою залежить від кормової бази та мінерального складу води. У деяких роботах також розглядається можливість цілеспрямованого підвищення вмісту окремих мікроелементів шляхом застосування мінеральних добавок у годівлі (Sarsembayeva et al., 2025).

Окремий блок досліджень присвячений безпечності рибної продукції та здатності риби акумулювати токсичні елементи. Підкреслюють, що важкі метали можуть накопичуватися у м'язовій тканині риби навіть за відносно низького рівня забруднення води, що зумовлює необхідність регулярного моніторингу. У дослідженнях, проведених на африканському континенті, показано, що концентрації свинцю та кадмію у *Clarias gariepinus* істотно зростають у районах з підвищеним антропогенним навантаженням (Okocha et al., 2025).

Разом з тим автори відзначають, що риба, вирощена в контрольованих умовах аквакультури, зазвичай характеризується нижчим рівнем токсичних елементів порівняно з рибою з природних водойм (Adewumi et al., 2021). Це підтверджує доцільність розвитку

промислової аквакультури як безпечного джерела рибної сировини з прогнозованими показниками якості.

Таким чином, аналіз сучасної наукової літератури свідчить про значний потенціал африканського кларієвого сома як джерела мінеральних речовин, водночас підкреслюючи необхідність проведення локальних досліджень, спрямованих на уточнення його мінерального профілю та показників безпечності в умовах конкретних аквакультурних систем.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Об'єктом дослідження було м'ясо африканського кларієвого сома – *Clarias gariepinus*, вирощеного в умовах контрольованої аквакультури ТМ «AQUAFARM», м. Васильків, Київської області. Для аналізу використовували м'язову тканину риби без шкіри та кісток. Зразки відбирали від товарних особин однакового віку та маси, що забезпечувало репрезентативність вибірки та мінімізацію впливу біологічних варіацій на результати дослідження.

Риба була вирощена в умовах інтенсивної аквакультури із застосуванням стандартних технологічних режимів утримання та годівлі. Після відбору зразків м'ясо піддавали первинній обробці, що включала відокремлення м'язової тканини, подрібнення та гомогенізацію до однорідного стану. Підготовлені проби зберігали за температури не вище 4 °С до моменту проведення аналітичних досліджень.

Вміст мінеральних елементів у м'ясі африканського кларієвого сома визначали після мінералізації зразків методом сухого озолення, згідно ДСТУ 7670:2014. Озолення проводили в муфельній печі при температурі 450–550 °С до отримання світло-сірого зольного залишку. Отриману золу розчиняли в розчині азотної кислоти з подальшим доведенням об'єму дистильованою водою (State Standard of Ukraine, 2014).

Кількісне визначення макроелементів (кальцію, магнію та калію) і мікроелементів (заліза, цинку, міді, нікелю алюмінію, кобальта, арсену, хрому молібдену та марганцю) здійснювали методом атомно-абсорбційної спектроскопії, згідно ДСТУ EN ISO 7980:2022 та ДСТУ EN 14082:2019 (State Standard of Ukraine, 2022; State Standard of Ukraine, 2019).

Для оцінки безпечності сировини визначали вміст токсичних елементів, з використанням фізико-хімічних методів аналізу, згідно ДСТУ EN 14082:2019 та ДСТУ EN 13806:2022 (State Standard of Ukraine, 2019; State Standard of Ukraine, 2022). Радіаційну безпечність оцінювали шляхом визначення вмісту радіонуклідів стронцію та цезію, відповідно до методів МВ 5778, 5779, затверджених Міністерством охорони здоров'я (Ministry of Health of Ukraine, 1991).

Отримані значення порівнювали з гранично допустимими рівнями, встановленими нормативними документами (State Standard of Ukraine, 2010; Ministry of Health of Ukraine, 2006).

Усі аналітичні визначення проводили не менше ніж у трикратній повторності. Результати досліджень обробляли методами варіаційної статистики з визначенням середнього арифметичного значення та стандартного відхилення. Дані подавали у вигляді середнього значення з урахуванням похибки вимірювань. Статистичну обробку виконували з використанням стандартних програмних засобів.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Результати досліджень мінерального складу м'яса африканського кларієвого сома – *Clarias gariepinus* – дозволяють комплексно оцінити його харчову та біологічну цінність як перспективної рибної сировини для сучасної аквакультури. Отримані експериментальні дані свідчать про наявність у м'язовій тканині риби широкого спектра макро- та мікроелементів, що відіграють ключову роль у забезпеченні фізіологічних потреб організму людини. Основні результати щодо вмісту макро- та мікроелементів у м'ясі африканського кларієвого сома наведені в таблиці 1, де показники подано у перерахунку на 100 г їстівної частини продукту.

Таблиця 1. Мінеральний склад м'яса африканського кларієвого сома

Показник	Вміст, мг/100 г	Адекватний рівень споживання, мг; 10% добової потреби (Ministry of Health of Ukraine, 2017)	
		Жінки	Чоловіки
Макроелементи		Жінки	
Калій	219,3 ± 6,6	-	
Кальцій	11,3 ± 0,4	110	120
Магній	22,47 ± 0,7	50	40
Мікроелементи		Жінки	
Мідь	0,042 ± 0,002	0,1	
Залізо	0,804 ± 0,03	1,7	1,5
Цинк	0,595 ± 0,02	1,2	1,5
Нікель	0,00453 ± 0,00003	-	
Марганець	0,0104 ± 0,0005	0,2	
Алюміній	0,776 ± 0,03	-	
Хром	0,0044 ± 0,004	0,005	
Молибден	<0,0005	0,07	
Кобальт	<0,0005	-	
Арсен	<0,0005	-	

Джерело: розроблено автором на основі досліджень

Аналіз експериментальних даних, наведених у таблиці 1, показав, що мінеральний склад м'язової тканини африканського кларієвого сома характеризується чіткою диференціацією макро- та мікроелементів за рівнем їх вмісту. Серед макроелементів домінуюче положення займає калій, вміст якого становив $219,3 \pm 6,6$ мг/100 г. Висока концентрація калію є типовою для прісноводних видів риб і свідчить про значний потенціал досліджуваної сировини у забезпеченні процесів регуляції водно-електролітного балансу, функціонування нервової системи та скоротливої активності м'язів.

Магній та кальцій представлені у фізіологічно значущих кількостях і становили відповідно $22,47 \pm 0,7$ мг/100 г та $11,3 \pm 0,4$ мг/100 г. Магній відіграє ключову роль як кофактор численних ферментативних реакцій та бере участь у регуляції нервово-м'язової провідності, тоді як кальцій є необхідним структурним компонентом кісткової тканини та регулятором внутрішньоклітинних сигнальних процесів. Порівняння фактичного вмісту зазначених елементів із 10 % адекватного рівня їх добового споживання свідчить про помірний, але стабільний внесок м'яса африканського кларієвого сома у забезпечення мінеральних потреб людини.

Серед мікроелементів у складі м'язової тканини досліджуваного виду найбільший вміст зафіксовано для заліза та цинку – $0,804 \pm 0,03$ мг/100 г і $0,595 \pm 0,02$ мг/100 г відповідно. Наявність заліза має особливе значення з огляду на його участь у процесах кровотворення та транспорту кисню, тоді як цинк відіграє важливу роль у підтриманні імунної відповіді, регуляції білкового синтезу та антиоксидантного захисту організму. Вміст міді та марганцю був суттєво нижчим і становив відповідно $0,042 \pm 0,002$ мг/100 г та $0,0104 \pm 0,0005$ мг/100 г, що відповідає їх статусу слідових елементів, необхідних для функціонування ферментних систем.

Виявлений у м'язовій тканині нікель знаходився на низькому рівні ($0,00453 \pm 0,00003$ мг/100 г), що не перевищує нормативні значення та не створює ризиків з точки зору харчової безпечності. Вміст потенційно небезпечних елементів, таких як молибден, кобальт, арсен та ртуть, перебував нижче межі визначення методу, що додатково підтверджує безпечність досліджуваної рибної сировини.

Загалом отримані результати свідчать про збалансований мінеральний профіль м'яса африканського кларієвого сома, який поєднує наявність біологічно важливих макро- та мікроелементів із низьким рівнем токсичних компонентів.

Це підтверджує доцільність розгляду даного виду риби як перспективної сировини для виробництва продуктів здорового харчування. Для наочної оцінки внеску мінеральних елементів у покриття 10 % адекватного рівня добового споживання доцільним є подання отриманих результатів у вигляді графічного матеріалу (рис. 1).

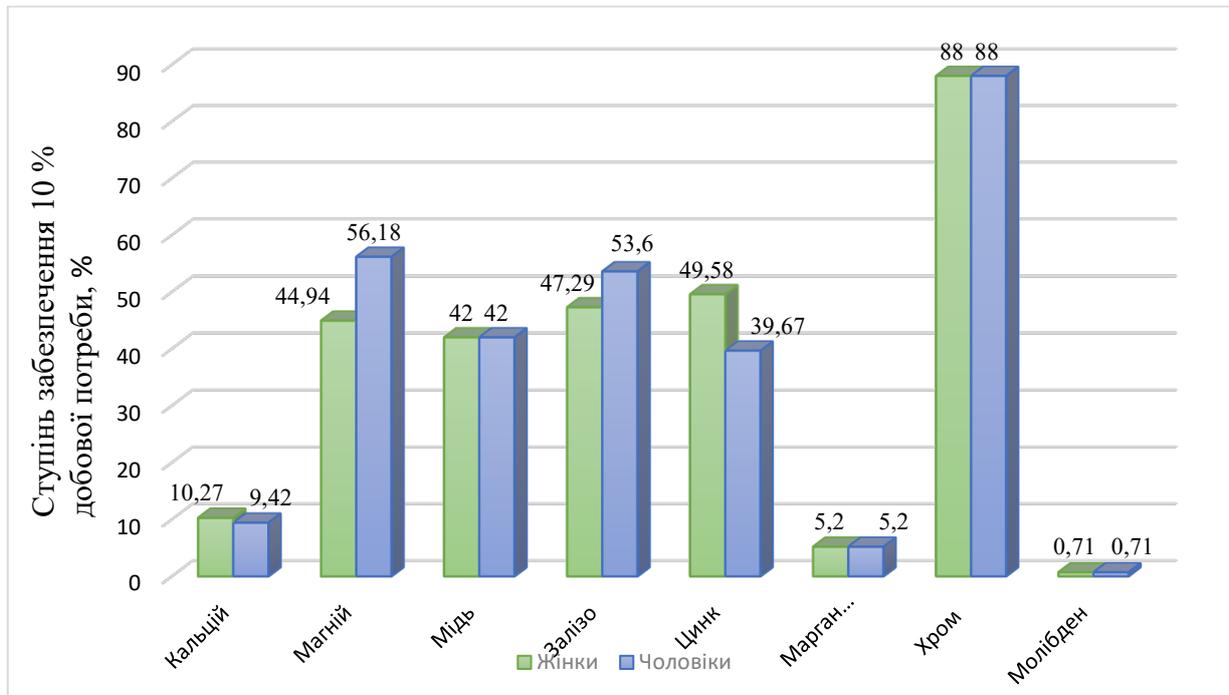


Рисунок 1. Ступінь забезпечення 10 % добової потреби дорослого населення в мінеральних речовинах

Джерело: розроблено автором

Побудована діаграма (рис. 1) наочно ілюструє ступінь забезпечення 10 % адекватного рівня добового споживання окремих мінеральних елементів при вживанні 100 г м'яса африканського кларієвого сома з урахуванням фізіологічних потреб жінок і чоловіків. Отримані графічні дані свідчать про виражену диференціацію внеску досліджуваної рибної сировини у покриття потреби в макро- та мікроелементах залежно від їх біологічної ролі та нормативних значень споживання.

Серед макроелементів найбільший відносний внесок у забезпечення добової потреби припадає на магній. Для жінок цей показник становить близько 44,9 %, тоді як для чоловіків – понад 56 %, що відображає різницю в адекватних рівнях споживання магнію залежно від статі. Такий рівень забезпечення свідчить про значний потенціал м'яса африканського кларієвого сома як джерела магнію, який відіграє ключову роль у процесах енергетичного обміну, регуляції нервово-м'язової провідності та ферментативної активності.

Помірний внесок у покриття добової потреби спостерігається також для кальцію. Ступінь забезпечення 10 % адекватного рівня споживання цього елемента не перевищує 10–11 % як для жінок, так і для чоловіків, що є характерним для м'язової тканини риб, яка не містить кісткових структур. Водночас наявність кальцію у фізіологічно значущих концентраціях доповнює загальний мінеральний профіль досліджуваної сировини та підвищує її харчову цінність у складі змішаних раціонів.

Аналіз мікроелементного складу показує, що найбільший внесок серед слідових елементів забезпечують залізо та цинк. Ступінь покриття 10 % адекватного рівня споживання

заліза становить близько 47–54 %, що є особливо важливим з огляду на роль цього елемента у процесах кровотворення та транспорту кисню. Цинк також характеризується значним внеском, який для жінок перевищує 49 %, а для чоловіків наближається до 40 %, що підкреслює значущість м'яса африканського кларієвого сома як джерела цього мікроелемента для підтримання імунної функції та антиоксидантного захисту організму.

Вміст міді забезпечує близько 42 % адекватного рівня споживання як для жінок, так і для чоловіків, що свідчить про достатню присутність цього елемента у м'язовій тканині риби. Водночас ступінь забезпечення потреби в марганці, нікелі та молібдені є відносно низьким і не перевищує 5–6 % для марганцю та менш ніж 1 % для молібдену. Такі значення відповідають фізіологічному статусу зазначених елементів як мікронутрієнтів, необхідних у незначних кількостях, і водночас свідчать про відсутність ризиків надмірного їх надходження з харчовим раціоном.

Особливу увагу привертає високий відносний показник для хрому, який досягає близько 88 % від 10 % адекватного рівня споживання як для жінок, так і для чоловіків. Це може свідчити про значний внесок м'яса африканського кларієвого сома у забезпечення потреби в цьому елементі, що бере участь у регуляції вуглеводного обміну та чутливості тканин до інсуліну.

Таким чином, аналіз графічних даних дозволяє зробити висновок, що споживання 100 г м'яса африканського кларієвого сома забезпечує суттєву частку адекватного рівня споживання окремих життєво необхідних макро- та мікроелементів, зокрема магнію, заліза, цинку, міді та хрому. Отримані результати підтверджують доцільність розгляду даної рибної сировини як перспективного компонента продуктів здорового харчування та функціональних харчових виробів, орієнтованих на оптимізацію мінерального статусу населення з урахуванням статевих особливостей потреб.

Оцінка безпечності рибної сировини є невід'ємною складовою комплексної характеристики її харчової та біологічної цінності, оскільки м'язова тканина риб здатна акумулювати токсичні елементи та радіонукліди з водного середовища. Наявність навіть незначних концентрацій важких металів може становити потенційний ризик для здоров'я людини за умови регулярного споживання рибної продукції. У зв'язку з цим у межах дослідження було проведено визначення вмісту токсичних елементів і радіонуклідів у м'ясі африканського кларієвого сома з подальшим порівнянням отриманих значень із гранично допустимими рівнями, встановленими чинними нормативними документами. Результати контролю показників безпечності рибної сировини наведено в таблиці 2.

Таблиця 2. Вміст важких металів та радіонуклідів у м'ясі сома

Показник	Гранично допустимі рівні, мг/кг (для радіонуклідів Бк/кг), не більше (State Standard of Ukraine, 2010; Ministry of Health of Ukraine, 2006)	М'ясо африканського сома
Токсичні елементи		
Свинець	1,0	0,013 ± 0,0003
Кадмій	0,2	0,0054 ± 0,00003
Ртуть	0,6	<0,0005
Мідь	10	0,42 ± 0,002
Цинк	40	5,95 ± 0,02
Радіонукліди		
Стронцій	35	0,045±0,001
Цезій	150	-

Джерело: розроблено автором

Аналіз результатів, наведених у таблиці 2, свідчить, що вміст токсичних елементів у м'ясі африканського кларієвого сома не перевищує гранично допустимих рівнів, установлених чинними нормативними документами для рибної продукції. Зокрема, концентрація свинцю становила $0,013 \pm 0,0003$ мг/кг, що є суттєво нижчим за допустимий рівень 1,0 мг/кг. Вміст кадмію також перебував на низькому рівні та становив $0,0054 \pm 0,00003$ мг/кг при гранично допустимому значенні 0,2 мг/кг. Отримані результати свідчать про відсутність значного антропогенного забруднення та підтверджують екологічну безпечність умов вирощування досліджуваної риби.

Концентрація ртуті в м'ясі африканського кларієвого сома була значно нижчою за нормативне обмеження і становила $<0,0005$ мг/кг при допустимому рівні 0,6 мг/кг. Вміст міді та цинку, які поряд із потенційною токсичністю виконують важливі біологічні функції, також не перевищував гранично допустимих значень. Зокрема, концентрація міді становила $0,42 \pm 0,002$ мг/кг при допустимому рівні 10 мг/кг, а вміст цинку – $5,95 \pm 0,02$ мг/кг при нормативному значенні 40 мг/кг. Такі показники свідчать про безпечний рівень накопичення зазначених елементів та їх відповідність вимогам харчової безпечності.

Оцінка радіаційної безпечності показала, що вміст стронцію в м'ясі африканського кларієвого сома становив $0,045 \pm 0,001$ Бк/кг, що є у десятки разів нижчим за встановлений допустимий рівень (100 Бк/кг). Радіонуклід цезій у досліджуваних зразках не було виявлено, що додатково підтверджує відсутність радіаційного навантаження та безпечність рибної сировини.

Таким чином, результати досліджень засвідчують, що м'ясо африканського кларієвого сома характеризується високим рівнем харчової безпечності за показниками вмісту токсичних елементів і радіонуклідів. Поєднання низьких концентрацій потенційно небезпечних компонентів із раніше встановленим збалансованим мінеральним складом дозволяє розглядати дану рибу сировину як перспективний об'єкт для використання у виробництві харчових продуктів підвищеної біологічної цінності та продуктів здорового харчування.

Отримані результати щодо мінерального складу м'яса африканського кларієвого сома (*Clarias gariepinus*) свідчать про високу харчову та біологічну цінність даної рибної сировини та узгоджуються із сучасними науковими уявленнями про роль прісноводної риби у формуванні повноцінного раціону людини. Порівняння експериментальних даних із результатами досліджень, опублікованих після 2016 року, демонструє загальну подібність мінерального профілю м'яса *Clarias gariepinus* у різних роботах, а також підтверджує стабільність накопичення біологічно значущих елементів у м'язовій тканині цього виду (Abdel-Mobdy et al., 2021; Langi, 2024; Adeyemi et al., 2025).

Серед макроелементів у м'ясі африканського кларієвого сома домінуюче положення займає калій, що є характерною особливістю даного виду риб і неодноразово відзначалося іншими авторами. У наукових публікаціях підкреслюється, що високий вміст калію в рибній сировині має важливе фізіологічне значення, оскільки цей елемент бере участь у регуляції водно-електролітного балансу, нервово-м'язової провідності та серцевої діяльності (Langi, 2024). Отримані в нашому дослідженні значення вмісту калію відповідають діапазонам, наведеним у сучасних літературних джерелах, і підтверджують здатність м'яса африканського кларієвого сома робити суттєвий внесок у забезпечення організму цим макроелементом.

Магній і кальцій у м'язовій тканині *Clarias gariepinus* були представлені у помірних, але фізіологічно значущих концентраціях. Подібні рівні цих елементів характерні для філе прісноводних риб і розглядаються як оптимальні з точки зору харчування, оскільки забезпечують участь у ферментативних процесах, енергетичному обміні та підтриманні структурної цілісності кісткової тканини без надлишкового надходження мінералів (Abdel-Mobdy et al., 2021). Порівняння з іншими дослідженнями показує, що отримані нами значення магнію та кальцію перебувають у межах типових для м'язової тканини без кісткових включень, що підкреслює коректність методологічного підходу.

Аналіз мікроелементного складу свідчить, що м'ясо африканського кларієвого сома є джерелом заліза та цинку у кількостях, які мають практичне значення для харчування людини. Роль заліза у процесах кровотворення та транспорту кисню, а також значення цинку для імунної відповіді й антиоксидантного захисту широко висвітлені в сучасних роботах, присвячених харчовій цінності риби (Abdel-Mobdy et al., 2021; Adeyemi et al., 2025). Значення Fe і Zn, отримані в нашому дослідженні, узгоджуються з даними інших авторів і підтверджують, що *Clarias gariepinus* може розглядатися як стабільне джерело цих мікроелементів у складі щоденного раціону.

Вміст міді, нікелю та марганцю в м'ясі африканського кларієвого сома був низьким і відповідав їх фізіологічному статусу слідових елементів. Подібний характер розподілу мікроелементів також відзначається в інших дослідженнях, де підкреслюється, що для *Clarias gariepinus* притаманна відсутність надмірного накопичення цих елементів у м'язовій тканині (Abdel-Mobdy et al., 2021; Langi, 2024). Це може розглядатися як позитивна характеристика з точки зору харчової безпечності та стабільності мінерального складу.

Порівняльний аналіз з даними інших авторів свідчить, що виявлені міждослідницькі відмінності за окремими показниками мають кількісний, а не принциповий характер і не змінюють загальної оцінки мінерального профілю м'яса африканського кларієвого сома. У сучасних оглядових роботах наголошується, що варіабельність абсолютних значень мінеральних елементів є типовою для рибної сировини та зумовлюється сукупністю біологічних і технологічних чинників, однак базова структура мінерального складу залишається стабільною (Langi, 2024).

Особливої уваги заслуговують показники безпечності. У нашому дослідженні токсичні елементи, зокрема свинець і кадмій, не були виявлені, а вміст радіонуклідів перебував на рівні, суттєво нижчому за встановлені нормативи. Це вигідно відрізняє отримані результати від даних окремих публікацій, у яких повідомляється про підвищені концентрації важких металів у рибі з регіонів із високим антропогенним навантаженням (Okocha et al., 2025). Отримані нами показники підтверджують високу харчову безпечність м'яса африканського кларієвого сома та підкреслюють його придатність для регулярного споживання.

Таким чином, результати обговорення демонструють, що мінеральний склад м'яса африканського кларієвого сома характеризується поєднанням біологічно значущих концентрацій макро- та мікроелементів із відсутністю небезпечних рівнів токсичних компонентів. Узгодженість отриманих даних з результатами сучасних наукових досліджень (Abdel-Mobdy et al., 2021; Langi, 2024; Adeyemi et al., 2025) та наявність низки позитивних характеристик дозволяють розглядати *Clarias gariepinus* як перспективну сировину для виробництва продуктів здорового харчування та функціональних харчових виробів.

ВИСНОВКИ. За результатами експериментальних досліджень встановлено, що м'ясо африканського кларієвого сома (*Clarias gariepinus*) характеризується домінуванням калію, вміст якого становить $219,3 \pm 6,6$ мг/100 г, а також наявністю магнію ($22,47 \pm 0,7$ мг/100 г) і кальцію ($11,3 \pm 0,4$ мг/100 г), що підтверджує його значущість як джерела біологічно важливих макроелементів.

Аналіз мікроелементного складу показав, що вміст заліза досягає $0,804 \pm 0,03$ мг/100 г, цинку - $0,595 \pm 0,02$ мг/100 г, міді - $0,042 \pm 0,002$ мг/100 г та марганцю - $0,0104 \pm 0,0005$ мг/100 г, що свідчить про наявність у м'язовій тканині комплексу мікроелементів, необхідних для процесів кровотворення, антиоксидантного захисту та ферментативної активності організму людини.

Оцінка ступеня забезпечення 10 % адекватного рівня добової потреби показала, що споживання 100 г м'яса африканського кларієвого сома забезпечує до 88 % цього рівня для хрому, 47–54 % - для заліза, 40–50 % - для цинку та магнію залежно від статі споживачів, що підтверджує суттєвий внесок досліджуваної рибної сировини у формування мінерального раціону дорослого населення. Результати контролю показників безпечності свідчать, що вміст

свинцю ($0,013 \pm 0,0003$ мг/кг) та кадмію ($0,0054 \pm 0,00003$ мг/кг) у м'ясі африканського кларієвого сома не перевищує гранично допустимих рівнів, установлених чинними нормативними документами, а концентрація стронцію ($0,045 \pm 0,001$ Бк/кг) є суттєво нижчою за допустимі значення, що підтверджує радіаційну безпеку досліджуваної рибної сировини.

Узагальнення отриманих експериментальних даних дозволяє розглядати м'ясо африканського кларієвого сома як безпечну та перспективну сировину для виробництва харчових продуктів здорового харчування, що поєднує збалансований мінеральний склад із відповідністю гігієнічним нормативам безпеки; подальші дослідження доцільно спрямувати на вивчення впливу технологічної обробки та умов зберігання на стабільність мінерального профілю.

Подяки. Немає.

Конфлікт інтересів. Немає.

References

- Abdel-Mobdy, M. E., El-Sayed, A. F. M., & El-Ghobashy, A. E. (2021). Nutritional value of African catfish (*Clarias gariepinus*) meat. *Aquaculture and Fisheries*, 6(4), 385–392. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2020.11.003>
- Adewumi, A. A., Adeyemo, O. K., & Oladimeji, A. A. (2021). Mineral composition and safety evaluation of African catfish (*Clarias gariepinus*) cultured under different aquaculture systems. *Environmental Challenges*, 5, 100337. <https://doi.org/10.1016/j.envc.2021.100337>
- Adeyemi, O. T., Ogunwole, O. A., & Olatunji, E. A. (2025). Comparative analysis of the nutritional composition of *Clarias gariepinus* from lentic and lotic freshwater ecosystems. *West African Journal of Applied Ecology*, 33(1), 77–88. <https://journals.ug.edu.gh/index.php/wajae/article/view/4689>
- Afolabi, O., Adeolu, A. T., Yusuf, I., Adewoye, S., & Asabi, O. S. (2019). Bioaccumulation of heavy metals by *Clarias gariepinus* (African catfish) in Asa River, Ilorin, Kwara State. *Journal of Health and Pollution*, 9(21), 190303. <https://doi.org/10.5696/2156-9614-9.21.190303>
- Akinwumi, A. O., Adeyemi, A. A., & Okafor, C. O. (2024). Assessment of naturally occurring radionuclides and heavy metals in freshwater fish species from coastal Nigeria. *Environmental Monitoring and Assessment*, 196, 114. <https://doi.org/10.1007/s10661-024-12114-3>
- Béné, C., Barange, M., Subasinghe, R., Pinstrup-Andersen, P., Merino, G., Hemre, G.-I., & Williams, M. (2015). Feeding 9 billion by 2050 – Putting fish back on the menu. *Food Security*, 7(2), 261–274. <https://doi.org/10.1007/s12571-015-0427-z>
- Bogard, J. R., Thilsted, S. H., Marks, G. C., Wahab, M. A., Hossain, M. A. R., Jakobsen, J., & Stangoulis, J. (2017). Nutrient composition of important fish species and potential contribution to recommended nutrient intakes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 57, 120–133. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2015.03.002>
- FAO. (2022). *The State of World Fisheries and Aquaculture 2022: Towards blue transformation*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/cc0461en/cc0461en.pdf>
- Langi, S., Maulu, S., Hasimuna, O. J., Kapula, V. K., & Tjipute, M. (2024). Nutritional requirements and effect of culture conditions on the performance of the African catfish (*Clarias gariepinus*): A review. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), 2302642. <https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2302642>
- Ministry of Health of Ukraine. (1991). *Methodological guidelines No. 5778-91. Determination of strontium-90 in food products*.
- Ministry of Health of Ukraine. (1991). *Methodological guidelines No. 5779-91. Determination of cesium-137 in food products*.

- Ministry of Health of Ukraine. (2006). *State hygienic standards. Permissible levels of radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in food products and drinking water* (GN 6.6.1.1-130-2006). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0845-06#Text>
- Ministry of Health of Ukraine. (2017). *On approval of the Norms of physiological needs of the population of Ukraine in basic nutrients and energy* (Order No. 1073, September 3, 2017). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1206-17#Text>
- Okocha, R. C., Ogheneborhie, O., & Falana, B. M. (2025). Heavy metal concentrations in African catfish (*Clarias gariepinus*) and pond water from commercial fish farms in South-West Nigeria. *NIPES - Journal of Science and Technology Research*, 32, 2491–2505. <https://doi.org/10.37933/nipes/7.4.2025.SI295>
- Sarsembayeva, N. A., Ikramzhan, G. K., Zhaksylykova, G. K., & Kassenova, Z. M. (2025). Enhancing the nutritional profile of African sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*) through dietary mineral supplementation and probiotics. *Veterinary World*, 18(6), 1341–1349. <https://veterinaryworld.org/Vol.18/June-2025/11.pdf>
- State Standard of Ukraine. (2010). *Live fish. General technical requirements* (DSTU 2284:2010). Kyiv: Derzhspozhyvstandard of Ukraine.
- State Standard of Ukraine. (2014). *Raw materials and food products. Sample preparation. Mineralization for determination of toxic elements content* (DSTU 7670:2014). Kyiv: UkrNDNC.
- State Standard of Ukraine. (2019). *Foodstuffs. Determination of lead, cadmium, zinc, copper, iron and chromium content by atomic absorption spectrometry (AAS) after dry ashing (EN 14082:2003, IDT)* (DSTU EN 14082:2019). Kyiv: UkrNDNC.
- State Standard of Ukraine. (2022). *Foodstuffs. Determination of trace elements. Determination of mercury by cold vapour atomic absorption spectrometry (CVAAS) after pressure digestion (EN 13806:2002, IDT)* (DSTU EN 13806:2022). Kyiv: UkrNDNC.
- State Standard of Ukraine. (2022). *Water quality. Determination of calcium and magnesium. Atomic absorption spectrometric method (EN ISO 7980:2000, IDT; ISO 7980:1986, IDT)* (DSTU EN ISO 7980:2022). Kyiv: UkrNDNC.
- Toppe, J., Bondad-Reantaso, M. G., Hasan, M. R., & Josupeit, H. (2018). *Fish and human nutrition: Nutritional quality of fish and fish products* (FAO Fisheries and Aquaculture Circular No. 1158). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/3/i9940en/19940EN.pdf>

Отримано 01.11.2025 р., прийнято до друку 01.02.2026 р.

УДК 665.3:620.9

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.44>

ТЕХНОЛОГІЧНІ ТА ІННОВАЦІЙНІ ПІДХОДИ ДО РЕГЕНЕРАЦІЇ ВІДПРАЦЬОВАНИХ ОЛІЙ

Роман Васильович Чуюк

Здобувач ступеня доктора філософії,

<https://orcid.org/0009-0005-9479-8803>

Михайло Михайлович Муштрук

Кандидат технічних наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0002-3646-1226>

Світлана Геннадіївна Савчук

Старший викладач

<https://orcid.org/0000-0002-1338-474X>

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна.*

Анотація. У статті розглянуто сучасні технологічні та інноваційні підходи до регенерації відпрацьованих рослинних олій, що утворюються у процесах харчового виробництва та в закладах громадського харчування.

Актуальність дослідження зумовлена постійним зростанням обсягів утворення відпрацьованих олій, екологічними ризиками їх неконтрольованої утилізації та необхідністю ефективної підготовки цієї вторинної сировини до подальшого енергетичного використання. Відпрацьовані олії характеризуються підвищеним кислотним числом, вмістом вологи та продуктів термічного окиснення, що суттєво обмежує можливості їх прямого застосування у біоенергетичних технологіях.

Метою роботи є комплексний аналіз та порівняльна оцінка ефективності традиційних і інноваційних методів регенерації відпрацьованих рослинних олій з позицій зниження кислотного числа, вмісту вологи, механічних домішок і мінімізації втрат корисної фракції. У процесі дослідження застосовано методи фізико-хімічного аналізу, порівняльного узагальнення літературних джерел, графо-аналітичні методи та елементи статистичної обробки результатів.

У роботі проаналізовано механічні, адсорбційні, нейтралізаційні та комбіновані технології очищення відпрацьованих олій, а також інноваційні підходи із застосуванням природних та модифікованих адсорбентів.

Встановлено, що механічні методи забезпечують лише часткове видалення домішок і не впливають суттєво на кислотне число. Адсорбційні методи дозволяють знизити кислотне число на 50–55 %, однак супроводжуються підвищеними втратами олії. Найвищу ефективність демонструють комбіновані схеми очищення, які забезпечують зниження кислотного числа до 1,5–2,0 мг КОН/г та зменшення вмісту вологи до 0,05–0,1 % при помірних технологічних витратах.

Практична цінність роботи полягає у можливості використання отриманих результатів для обґрунтованого вибору оптимальних схем регенерації відпрацьованих рослинних олій перед їх подальшим використанням у біоенергетичних та ресурсозберігаючих технологіях.

Ключові слова: регенерація, очищення, адсорбенти, ресурсозбереження, біоенергетика.

UDC 665.3:620.9

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.44>

TECHNOLOGICAL AND INNOVATIVE APPROACHES TO THE REGENERATION OF WASTE OILS

Roman Chuiuk

Postgraduate student

<https://orcid.org/0009-0005-9479-8803>

Mikhailo Mushtruk

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0002-3646-1226>

Svitlana Savchuk

Senior Lecturer

<https://orcid.org/0000-0002-1338-474X>

*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
03041, Vystavkova Str., 16, Kyiv, Ukraine*

Abstract. The paper addresses modern technological and innovative approaches to the regeneration of waste vegetable oils generated in food processing and catering establishments.

The relevance of the study is driven by the steady growth in volumes of waste oils, the environmental risks associated with their improper disposal, and the need for effective preparation of this secondary raw material for subsequent energy use. Waste vegetable oils are characterized by elevated acid value, moisture content, and the presence of thermal oxidation products, which significantly limit their direct application in bioenergy technologies.

The aim of the study is a comprehensive analysis and comparative assessment of traditional and innovative methods for the regeneration of waste vegetable oils with regard to reducing acid value, moisture content, and mechanical impurities, and minimizing losses of the valuable oil fraction.

The research methodology includes physicochemical analysis methods, comparative synthesis of scientific literature, graphical and analytical techniques, and statistical data processing. The study analyzes mechanical, adsorption, neutralization, and combined purification technologies, as well as innovative approaches involving natural and modified adsorbents. It has been established that mechanical methods provide only partial impurity removal and do not significantly affect the acid value. Adsorption methods reduce acid value by approximately 50–55 percent but are accompanied by increased oil losses.

The highest efficiency is achieved with combined purification schemes that integrate several sequential treatment stages. These schemes ensure a reduction of the acid value to 1.5–2.0 milligrams of potassium hydroxide per gram and a decrease in moisture content to 0.05–0.1 percent under moderate technological complexity.

The practical value of the research lies in the potential to use the results to justify the selection of optimal regeneration schemes for waste vegetable oils prior to their application in bioenergy and resource-saving technologies.

Keywords: регенерація, очищення, адсорбенти, ресурсозбереження, біоенергетика.

ВСТУП. У світовій науковій спільноті проблема регенерації відпрацьованих рослинних олій (ВРО) набуває дедалі більшої ваги через їх значні обсяги утворення та потенціал для вторинного використання в енергетичних і хімічних технологіях (Aghbashlo *et al.*, 2021). Такі відходи становлять великий екологічний ризик у разі неконтрольованої утилізації, але водночас є доступним і дешевим джерелом вуглецю для виробництва дизельного біопалива та інших продуктів, які можуть бути використані в харчовій та парфюмерній промисловості

(Elgharbawy *et al.*, 2021). Зокрема, проблема полягає у високому рівні кислотного числа, підвищеному вмісті вологи та домішок, що негативно впливає на хімічну стабільність та кінцеву якість продуктів переробки (Vickram *et al.*, 2023).

Останні результати досліджень доводять, що традиційні підходи до регенерації ВРО, такі як проста фільтрація або базова нейтралізація, не завжди забезпечують належної якості сировини для енергетичного застосування (Hosseinzadeh-Bandbafha *et al.*, 2022). За результатами проведених досліджень Suzihaque *et al.*, (2023) встановили, що застосування новітніх біокаталітичних систем дозволяє підвищувати ефективність перетворення ВРО у дизельне біопаливо, але вимагає одночасного урахування стабільності каталізаторів. Tucki *et al.* (2020) у своєму дослідженні порівняли життєвий цикл технологій виробництва дизельного біопалива з ВРО і встановили, що конструкція та ефективність ланцюга переробки мають суттєвий вплив на фізико-хімічні показники кінцевих продуктів.

У контексті очищення та регенерації ВРО Maheshwari *et al.*, (2022) провели аналіз сучасних технологічних рішень перетворення ВРО на екологічно чисті продукти, які включали мембранні та каталітичні методи, встановили, що використання їх комбінацій суттєво підвищують вихід продуктів та зменшують енерговитрати. В науковому огляді Beghetto доводить важливість інтеграції переробки ВРО до механізмів циркулярної економіки, де відходи розглядаються не як сміття, а як ресурс для створення матеріалів з високою доданою вартістю.

Дослідження G.M. Mathew *et al.*, (2021) спрямовані на оцінку сучасних практик управління ВРО та впровадження циркулярних стратегій, які включають технологічні та логістичні рішення для ефективного збору та переробки на локальних і регіональних рівнях. Н. Esmaili (2022) у своїй оглядовій роботі з Life Cycle Assessment (LCA) підкреслили, що конверсія ВРО у біопродуктів, включно з дизельним біопаливом, біолубрикантами та іншими біохімічними матеріалами, має високий потенціал для інтеграції у глобальні енергетичні ланцюги, але потребує подальшої оптимізації технологій очищення, включно з мембранною сепарацією та супер критичними методами виділення.

Незважаючи на значний прогрес, багато сучасних досліджень зосереджуються на окремих аспектах переробки ВРО. Тим часом комплексний аналіз технологічних схем, який одночасно враховує ефективність очищення, енергозбереження, економічну доцільність та втрати олії, залишається недостатньо висвітленим. Окрім того, таких оглядів практично немає у літературі 2019 – 2025 рр., що створює необхідність інтеграції цих аспектів у системний підхід до регенерації ВРО.

У зв'язку з цим метою цієї роботи є комплексний аналіз сучасних технологічних та інноваційних підходів до регенерації відпрацьованих рослинних олій та їх порівняльна оцінка за ключовими показниками якості. Основними завданнями є: оцінити вплив різних методів очищення на кислотне число та вміст вологи; проаналізувати ефективність адсорбційних і комбінованих схем регенерації; узагальнити результати з позицій ресурсозбереження та технологічної доцільності.

Наукова новизна роботи полягає у застосуванні інтегрального підходу, що об'єднує якість очищення, технологічну складність та мінімізацію втрат сировини в єдину оцінку ефективності регенерації ВРО.

Таким чином, аналіз літературних джерел свідчить про відсутність універсальної технології регенерації відпрацьованих олій, що зумовлює актуальність пошуку оптимальних та інноваційних технологічних рішень.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. Сучасні наукові дослідження у сфері регенерації ВРО пов'язані з дослідженнями та аналізом окремих технологічних аспектів підготовки цієї вторинної сировини до подальшого енергетичного та промислового використання. Значна частина публікацій присвячена оцінці фізико-хімічних змін олій у процесі багаторазового термічного навантаження та пошуку ефективних методів відновлення їх експлуатаційних властивостей.

С.Т. Pinheiro *et al.* (2021) у своїй роботі детально проаналізували вплив термічного окиснення на накопичення вільних жирних кислот і продуктів полімеризації у відпрацьованих кулінарних оліях, зазначивши, що саме ці компоненти є ключовими факторами погіршення якості сировини. Подібних висновків дійшли М.С. Gad *et al.* (2023), які показали, що зростання кислотного числа прямо корелює зі зниженням стабільності процесів подальшої хімічної переробки.

Окремий напрям досліджень пов'язаний з удосконаленням методів очищення відпрацьованих олій. М.К. Pasha *et al.* (2021) досліджували механічні та фізичні методи очищення, підкресливши їх ефективність щодо видалення механічних домішок, але обмежений вплив на кислотне число. Натомість С.Т. Pinheiro *et al.* (2021) довели доцільність застосування адсорбційних матеріалів природного походження, які забезпечують суттєве покращення фізико-хімічних показників олій.

Питання комбінування різних технологічних підходів активно розглядається у працях Cheliadyn *et al.* (2020), де автори встановили, що поєднання механічного та адсорбційного очищення дозволяє досягти більш стабільної якості регенованої сировини. Аналогічні результати отримали Jayaraman *et al.* (2022), які наголошують на необхідності оптимізації параметрів кожної стадії процесу з метою зменшення втрат олій.

Вплив попередньої регенерації ВРО та тваринних жирів на біоенергетичні процеси досліджували Z. Khan *et al.* (2021), які встановили, що зниження кислотного числа позитивно впливає на стабільність каталізаторів і підвищує вихід дизельного біопалива. О. Konur (2021) підтверджують результати попередніх авторів, за рахунок аналізу енергетичної ефективності процесів підготовки сировини.

Таким чином, огляд сучасних публікацій свідчить, що більшість досліджень зосереджені на окремих аспектах регенерації відпрацьованих рослинних олій, тоді як комплексний підхід, що одночасно враховує ефективність очищення, ресурсозбереження та технологічну складність, залишається недостатньо розробленим.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Об'єктом дослідження були відпрацьовані рослинні олії, отримані після багаторазового використання у промислових та побутових процесах приготування харчових продуктів, зокрема під час смаження та теплової обробки продуктів за підвищених температур. У процесі експлуатації такі олії зазнають інтенсивних фізико-хімічних змін, зумовлених тривалим термічним навантаженням, контактом з киснем повітря та водяною парою, а також взаємодією з компонентами харчової сировини.

Внаслідок зазначених факторів у відпрацьованих оліях відбуваються процеси термічного окиснення, гідролізу та полімеризації тригліцеридів, що супроводжуються накопиченням вільних жирних кислот, продуктів вторинного окиснення, полярних сполук і механічних домішок. Це призводить до зростання кислотного та перекисного чисел, підвищення вмісту вологи й твердих частинок, а також погіршення органолептичних і технологічних властивостей олій, що унеможлиблює її подальше харчове використання без попередньої регенерації.

Початкові показники якості досліджуваних зразків відпрацьованих рослинних олій, зокрема кислотне число, вміст вологи, механічних домішок та інших регламентованих параметрів, наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Початкові показники якості відпрацьованих рослинних олій (n = 12, M ± σ)

Показник	Значення
Кислотне число, мг КОН/г	6,0 – 6,8
Вміст води, %	0,40 – 0,50
Механічні домішки, %	0,20 – 0,35

Наведені показники вказують на значне накопичення вільних жирних кислот та забруднення олії, що обґрунтовує необхідність її регенерації.

Дослідження проводилось на 12 зразках (рис. 1) відпрацьованої рослинної олії, які були розподілені на наступні експериментальні групи:

Група 1 (контроль): без обробки ($n = 2$)

Група 2: механічна фільтрація ($n = 2$)

Група 3: адсорбційна обробка бентонітом ($n = 2$)

Група 4: адсорбційна обробка цеолітом ($n = 2$)

Група 5: лужна нейтралізація ($n = 2$)

Група 6: комбінована схема ($n = 2$)

Для кожного методу проводилось по 3 повторення вимірювань основних показників якості.



Рисунок 1. Експериментальні зразки досліджуваних олій

Механічне очищення проводили за допомогою системи послідовної фільтрації з використанням фільтрів різних ступенів очистки (грубої та тонкої очистки). Процес здійснювався при кімнатній температурі (20–25°C) без застосування надлишкового тиску. Час фільтрації для однієї порції олії (5 л) становив 15–20 хв.

Адсорбційну обробку проводили з використанням природних адсорбентів, характеристики яких наведено в табл. 2

Таблиця 2. Характеристики використаних адсорбентів

Параметр	Бентоніт	Цеоліт
Походження	Україна, родовище Липівське	Україна, родовище Сокирницьке
Розмір частинок, мм	0,15–0,3	0,1–0,25
Марка/тип	Bentonite Fuller's Earth	ЦМ-2К (природний цеоліт)
Дозування, % від маси олії	3–5	2–4
Активация	Прожарювання 110°C, 2 год	Висушування 105°C, 1 год
Адсорбційна здатність	Вуглеводневі домішки, забарвлювальні речовини	Полярні речовини, вологість

Параметри адсорбційного процесу: температура 50–60°C ($\pm 2^\circ\text{C}$), підтримується термостатом, час контакту: 30–45 хвилин, стехіометричне відношення олія: адсорбент: (20–25):1 за масою (5 л олії + 200–250 г адсорбенту), інтенсивність перемішування: 200–250 об/хв, здійснювалось механічною мішалкою.

Кількість циклів адсорбції: два послідовних етапи з розділенням адсорбенту фільтруванням між циклами.

Після адсорбції суміш охолоджували до 20–25°C та розділяли олію від адсорбенту фільтруванням при кімнатній температурі.

Нейтралізацію вільних жирних кислот проводили розчином гідроксиду натрію (NaOH) концентрацією 10 % за масою. Параметри процесу: температура 50–60°C ($\pm 2^\circ\text{C}$), час процесу 20–30 хв., стехіометричне співвідношення розраховували, як 1,05–1,10 від теоретичної кількості луку (з 5–10% надлишком для повної нейтралізації вільних жирних кислот), інтенсивність перемішування: 200 об/хв., розділення фаз: відстоювання 15–20 хвилин

Після нейтралізації проводили з три промивання олії дистильованою водою при температурі 50°C, після чого олію висушували при 80–90°C протягом 30–40 хвилин до залишкового вмісту вологи не більше 0,1 %.

Комбінована схема включала послідовне застосування всіх вищезазначених методів у наступному порядку: *I стадія* – механічна фільтрація (15–20 хвилин при 20–25°C), *II стадія* – адсорбційна обробка (два цикли по 30–45 хвилин при 50–60°C; спочатку бентоніт, потім цеоліт), *III стадія* – лужна нейтралізація (20–30 хвилин при 50–60°C), *IV стадія* – промивання та висушування (промивання дистильованою водою при 50°C, трьохразово; висушування при 80–90°C у вакуумному сушарі).

Кислотне число визначали титриметричним методом згідно з ДСТУ EN ISO 660:2009.

Вміст вологи визначали методом висушування до досягнення сталої маси при температурі (105 \pm 2)°C у вакуумному сушарі згідно з ДСТУ EN ISO 662:2010.

Вміст механічних домішок визначали гравіметричним методом згідно з ДСТУ ISO 663:2009.

Ефективність регенерації оцінювали за такими критеріями:

Відносна зміна показників якості: розраховувалась як відносна різниця між початковими та кінцевими значеннями:

Для кислотного числа:

$$\eta_1 = ((KЧ_0 - KЧ_1) / KЧ_0) \times 100 \%$$

Для вмісту води:

$$\eta_2 = ((W_0 - W_1) / W_0) \times 100 \%$$

Для механічних домішок:

$$\eta_3 = ((M_0 - M_1) / M_0) \times 100 \%$$

де, $KЧ_0$, W_0 , M_0 – початкові значення; $KЧ_1$, W_1 , M_1 – кінцеві значення.

Інтегральний показник ефективності (Е): комплексна оцінка ефективності розраховувалась за формулою:

$$E = (0,4 \times \eta_1 + 0,35 \times \eta_2 + 0,25 \times \eta_3) - \text{Втрати}$$

де, коефіцієнти ваги (0,4, 0,35, 0,25) відображають відносну важливість кожного показника; Втрати – масові втрати олії під час процесу обробки (у відсотках від початкової маси).

Економічна ефективність: розраховувалась на основі витрат матеріалів та енергії на 1 л регенованої олії, включаючи вартість адсорбентів, хімічних реагентів і витрати електроенергії.

В табл. 3 представлені технічні характеристики лабораторного обладнання яке було використано для проведення експериментальних досліджень.

Таблиця 3. Технічні характеристики обладнання, використаного у дослідженні

Назва обладнання	Марка/модель	Технічні характеристики	Призначення
Фільтрувальна установка	Büchner (посуд)	Діаметр 15 см, пори 0,45 мкм	Фільтрування олії
Термостат	WTB Binder	Температурний діапазон 20–100°C, точність $\pm 2^\circ\text{C}$	Підтримання температури при адсорбції
Механічна мішалка	IKA Werke (RW 20)	Оберти 0–2000 об/хв, об'єм контейнера до 10 л	Перемішування при адсорбції та нейтралізації
Аналітичні ваги	Sartorius Practum	Дозволена вага до 220 г, точність $\pm 0,0001$ г	Зважування реагентів та зразків
Сушильна шафа	Memmert UFE 800	Температурний діапазон 20–300°C, об'єм 800 л	Висушування олії та адсорбентів
Вакуумна сушарня	Bühler (VD-200)	Тиск 0,1–1 атм, температура до 100°C	Видалення вологи з олії та адсорбентів
Титрувальна установка	Metrohm (Titrand)	Об'єм 25 мл, дозвіл $\pm 0,01$ мл	Титрування при визначенні кислотного числа
Термометр цифровий	Hanna HI 8757	Діапазон –20 до +60°C, точність $\pm 0,1^\circ\text{C}$	Контроль температури процесів

Хімічні реагенти та матеріали:

гідроксид натрію (NaOH), чистота ч.д.а., виробник: Merck KGaA;

гідроксид калію (KOH), концентрація 0,1 М,

стандартизований розчин, виробник: Titrolux;

диетиловий ефір, чистота ч.д.а., виробник: Sigma-Aldrich;

етанол 96 %, чистота ч.д.а., виробник: Merck KGaA;

індикатор фенолфталеїн, розчин 1%;

дистильована вода (виробництво лабораторії);
 мембранні фільтри (PTFE), 0,45 мкм, 47 мм, виробник: Millipore;
 фільтрувальний папір.

Дослідження проводилось з серпня по жовтень 2025 року в Лабораторії кафедри ПіОПП АПК Національного університету біоресурсів і природокористування України (НУБіП України), м. Київ.

Статистичну обробку результатів дослідження проводили з використанням:

- *середніх арифметичних значень* (M) – як основної характеристики розташування даних;
- *стандартного відхилення* (σ) – для характеристики розсіювання результатів;
- *довірчих інтервалів* (95 % довірчий рівень) – для оцінки точності та надійності отриманих результатів;
- *коефіцієнта варіації* ($V = \sigma/M \times 100 \%$) – для оцінювання однорідності експериментальних даних.

Розрахунки виконувались з використанням програмного забезпечення MS Excel та Statistica. Результати вважались статистично значущими при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГОВОРЕННЯ. У результаті комплексного аналізу експериментальних даних та узагальнення сучасних літературних матеріалів встановлено, що ефективність регенерації відпрацьованих рослинних олій значною мірою визначається типом і послідовністю застосованих технологічних операцій очищення.

Зокрема, вибір окремої технологічної схеми без урахування вихідного стану сировини, рівня фізико-механічних змін та вмісту домішок не забезпечує досягнення стабільних показників якості регенованої олії. Отримані результати свідчать, що поєднання кількох методів очищення в межах єдиної технологічної схеми дозволяє реалізувати синергетичний ефект, який проявляється у більш інтенсивному зниженні кислотного числа, вмісту вологи та механічних домішок порівняно з ізольованим використанням окремих методів. У таблиці 4 наведено вплив різних методів очищення на кислотне число відпрацьованих олій.

Таблиця 4. Зміна кислотного числа (КЧ) відпрацьованих олій після різних методів очищення ($M \pm \sigma, n = 3$)

Метод очищення	КЧ до очищення, мг КОН/г	КЧ після очищення, мг КОН/г	Абсолютне зниження, мг КОН/г	Відносне зниження, %
Контроль (без обробки)	6,5 ± 0,2	6,5 ± 0,2	–	–
Механічна фільтрація	6,5 ± 0,2	6,1 ± 0,3	0,4	6,2
Адсорбційне очищення	6,5 ± 0,2	3,2 ± 0,4	3,3	50,8
Лужна нейтралізація	6,5 ± 0,2	2,0 ± 0,3	4,5	69,2
Комбінований метод	6,5 ± 0,2	1,8 ± 0,2	4,7	72,3

Отримані дані чітко свідчать про суттєві відмінності в ефективності досліджених методів:

Механічна фільтрація забезпечила мінімальне зниження кислотного числа на 6,2%, що не перевищує рівня природної мінливості показника. Це пояснюється тим, що механічна фільтрація видаляє лише матеріальні забруднення та не впливає на хімічні процеси окиснення та гідролізу, які призводять до накопичення вільних жирних кислот.

Адсорбційне очищення показало значно вищу ефективність з зниженням кислотного числа на 50,8%. Цей результат демонструє здатність адсорбентів видаляти як полярні речовини, так і первинні продукти окиснення, що сприяє зменшенню вмісту вільних жирних кислот.

Лужна нейтралізація забезпечила зниження кислотного числа на 69,2%, що перевищує ефективність адсорбційного методу. Це можна пояснити прямою нейтралізацією вільних жирних кислот розчином луку з утворенням водорозчинних солей (мил).

Комбінований метод продемонстрував найвищу ефективність з зниженням кислотного числа на 72,3%. Послідовне застосування механічної фільтрації, адсорбції та лужної нейтралізації дозволило забезпечити комплексне видалення як полярних забруднень, так і вільних жирних кислот.

Варіація вмісту води при обробці ВРО представлена в табл. 5.

Таблиця 5. Вплив методів очищення на вміст вологи у відпрацьованих оліях ($M \pm \sigma$, $n = 3$)

Метод очищення	Вміст води до очищення, %	Вміст води після очищення, %	Абсолютне зниження, %	Відносне зниження, %
Контроль (без обробки)	0,45 ± 0,03	0,45 ± 0,03	–	–
Механічна фільтрація	0,45 ± 0,03	0,42 ± 0,04	0,03	6,7
Адсорбційне очищення	0,45 ± 0,03	0,18 ± 0,05	0,27	60,0
Лужна нейтралізація	0,45 ± 0,03	0,12 ± 0,03	0,33	73,3
Комбінований метод	0,45 ± 0,03	0,08 ± 0,02	0,37	82,2

За результатами досліджень встановлено, що адсорбційні методи забезпечують ефективне видалення вологи, особливо природні адсорбенти (цеоліт), які мають розвинену поверхню та дійсну гідрофільність. Комбінований метод з додатковим висушуванням під вакуумом забезпечив максимальне видалення вологи на рівні 82,2%.

Видалення механічних домішок

Таблиця 6. Вплив методів очищення на вміст механічних домішок ($M \pm \sigma$, $n = 2$)

Метод очищення	Механічні домішки до очищення, %	Механічні домішки після очищення, %	Видалено, %	Ефективність видалення, %
Контроль (без обробки)	0,28 ± 0,04	0,28 ± 0,04	–	–
Механічна фільтрація	0,28 ± 0,04	0,02 ± 0,01	0,26	92,9
Адсорбційне очищення	0,28 ± 0,04	0,04 ± 0,02	0,24	85,7
Лужна нейтралізація	0,28 ± 0,04	0,05 ± 0,02	0,23	82,1
Комбінований метод	0,28 ± 0,04	0,01 ± 0,01	0,27	96,4

Контрольний зразок (без обробки) не продемонстрував змін у показниках, що підтверджує стабільність вихідного складу та коректність проведення експерименту.

Найбільш виражений ефект забезпечила механічна фільтрація: вміст механічних домішок зменшився до 0,02 ± 0,01 %, що відповідає видаленню 0,26 % домішок та ефективності 92,9 %. Отриманий результат є закономірним, оскільки механічна фільтрація безпосередньо спрямована на фізичне вилучення твердих частинок.

Адсорбційне очищення дозволило знизити вміст домішок до 0,04 ± 0,02 %, що відповідає ефективності 85,7 %. Хоча основною метою адсорбційних методів є видалення розчинених та колоїдних домішок, спостерігається також суттєве зменшення механічних включень.

При застосуванні лужної нейтралізації вміст механічних домішок зменшився до 0,05 ± 0,02 %, а ефективність видалення склала 82,1 %. Зниження показника пояснюється частковим

осадженням супутніх компонентів та їх видаленням у процесі відстоювання й подальшої сепарації.

Найвищу ефективність продемонстрував комбінований метод, при якому вміст механічних домішок знизився до $0,01 \pm 0,01$ %, що відповідає видаленню 0,27 % домішок та ефективності 96,4 %. Підвищений результат обумовлений синергічним поєднанням фізичних і фізико-хімічних механізмів очищення.

Таким чином, усі досліджені методи забезпечують суттєве зниження вмісту механічних домішок, однак найбільш доцільним з точки зору досягнення мінімального залишкового вмісту є застосування комбінованого підходу, що дозволяє досягти максимального ступеня очищення технологічного середовища.

Втрати олії під час регенерації

У табл. 7 наведено результати оцінки втрат олії при використанні різних методів очищення, розраховані від початкового об'єму 5000 мл.

Таблиця 7. Втрати олії при застосуванні різних методів регенерації (розраховано від початкового об'єму)

Метод очищення	Початковий об'єм, мл	Кінцевий об'єм, мл	Абсолютні втрати, мл	Відносні втрати, %
Механічна фільтрація	5000	4920	80	1,6
Адсорбційне очищення	5000	4650	350	7,0
Лужна нейтралізація	5000	4700	300	6,0
Комбінований метод	5000	4500	500	10,0

Найменші втрати спостерігалися при механічній фільтрації: кінцевий об'єм становив 4920 мл, що відповідає абсолютним втратам 80 мл та відносним втратам лише 1,6 %. Це пояснюється тим, що процес передбачає переважно фізичне вилучення механічних домішок без значного поглинання або хімічного перетворення компонентів олії.

При адсорбційному очищенні кінцевий об'єм зменшився до 4650 мл, а абсолютні втрати склали 350 мл (7,0 %). Зростання втрат пов'язане з частковим утримуванням олії на поверхні адсорбенту та у його порах.

Лужна нейтралізація забезпечила кінцевий об'єм 4700 мл, що відповідає втратам 300 мл (6,0 %). У даному випадку втрати обумовлені утворенням мила внаслідок реакції нейтралізації вільних жирних кислот та подальшим видаленням мильної фази разом із частиною нейтральної олії.

Найбільші втрати зафіксовано при застосуванні комбінованого методу — кінцевий об'єм становив 4500 мл, що відповідає абсолютним втратам 500 мл та відносним втратам 10,0 %. Це пояснюється поєднанням кількох стадій очищення (фільтрація, адсорбція, хімічна обробка), кожна з яких супроводжується частковим утриманням або видаленням певної частини олії.

Таким чином, механічна фільтрація є найбільш економічно вигідною з точки зору збереження об'єму продукту. Водночас комбінований метод, незважаючи на підвищені втрати, забезпечує найвищий рівень очищення та покращення якісних показників олії, що може бути технологічно та економічно доцільним при виробництві біопалива або харчових продуктів із підвищеними вимогами до якості сировини.

Інтегральна оцінка ефективності методів

Для комплексної оцінки ефективності різних методів використовували інтегральний показник ефективності (E), розрахований за формулою:

$$E = (0,4 \times \eta_1 + 0,35 \times \eta_2 + 0,25 \times \eta_3) - K \times \text{Втрати}$$

де: η_1 – відносне зниження кислотного числа, %; η_2 – відносне зниження вмісту води, %; η_3 – ефективність видалення механічних домішок, %; K – коефіцієнт штрафу за втрати (K = 0,05);

Втрати –відносні втрати олії, %.

У табл. 8 наведено узагальнену оцінку ефективності різних методів регенерації відпрацьованих олій за ключовими технологічними та економічними показниками.

Таблиця 8. Порівняльна характеристика методів регенерації відпрацьованих олій

Параметр оцінювання	Механічна фільтрація	Адсорбційне очищення	Лужна нейтралізація	Комбінований метод
Зниження КЧ, %	6,2	50,8	69,2	72,3
Видалення води, %	6,7	60,0	73,3	82,2
Видалення механічних домішок, %	92,9	85,7	82,1	96,4
Втрати олії, %	1,6	7,0	6,0	10,0
Технологічна складність	Низька	Середня	Середня	Висока
Капітальні витрати, у.о.	5	15	10	25
Операційні витрати, у.о.	1	5	8	12
Інтегральний показник E	34,6	62,1	68,5	72,8

Механічна фільтрація характеризується низькою технологічною складністю та мінімальними капітальними (5 у.о.) й операційними витратами (1 у.о.). Вона забезпечує високий рівень видалення механічних домішок (92,9 %), однак є малоефективною щодо зниження кислотного числа (6,2 %) та видалення води (6,7 %). Інтегральний показник ефективності становить **34,6**, що свідчить про доцільність застосування методу як попередньої стадії очищення.

Адсорбційне очищення демонструє суттєве зниження кислотного числа (50,8 %) та видалення води (60,0 %), при достатньо високому рівні вилучення механічних домішок (85,7 %). Втрати олії становлять 7,0 %. За середньої технологічної складності та помірних витрат (15 у.о. капітальних і 5 у.о. операційних) інтегральний показник дорівнює **62,1**, що характеризує метод як ефективний компроміс між якістю очищення та витратами.

Лужна нейтралізація забезпечує більш глибоке зниження кислотного числа (69,2 %) та ефективно видалення води (73,3 %), хоча поступається механічній фільтрації за ступенем вилучення твердих домішок (82,1 %). Втрати олії становлять 6,0 %. За помірних капітальних (10 у.о.) та операційних витрат (8 у.о.) інтегральний показник досягає **68,5**, що свідчить про високу технологічну результативність методу.

Найкращі показники якості очищення продемонстрував **комбінований метод**: зниження кислотного числа — 72,3 %, видалення води — 82,2 %, механічних домішок — 96,4 %. Однак це супроводжується найбільшими втратами олії (10,0 %), високою технологічною складністю та значними капітальними (25 у.о.) і операційними витратами (12 у.о.). Незважаючи на це, інтегральний показник ефективності є максимальним і становить **72,8**, що підтверджує доцільність застосування методу у випадках, коли пріоритетом є досягнення максимальної якості регенерованої олії.

Таким чином, вибір методу регенерації повинен здійснюватися з урахуванням цільового призначення продукту. Для попереднього очищення або за умов обмеженого бюджету доцільною є механічна фільтрація. Для досягнення високих якісних показників — лужна нейтралізація або комбінований підхід, який забезпечує найвищий інтегральний ефект за рахунок синергії методів очищення.

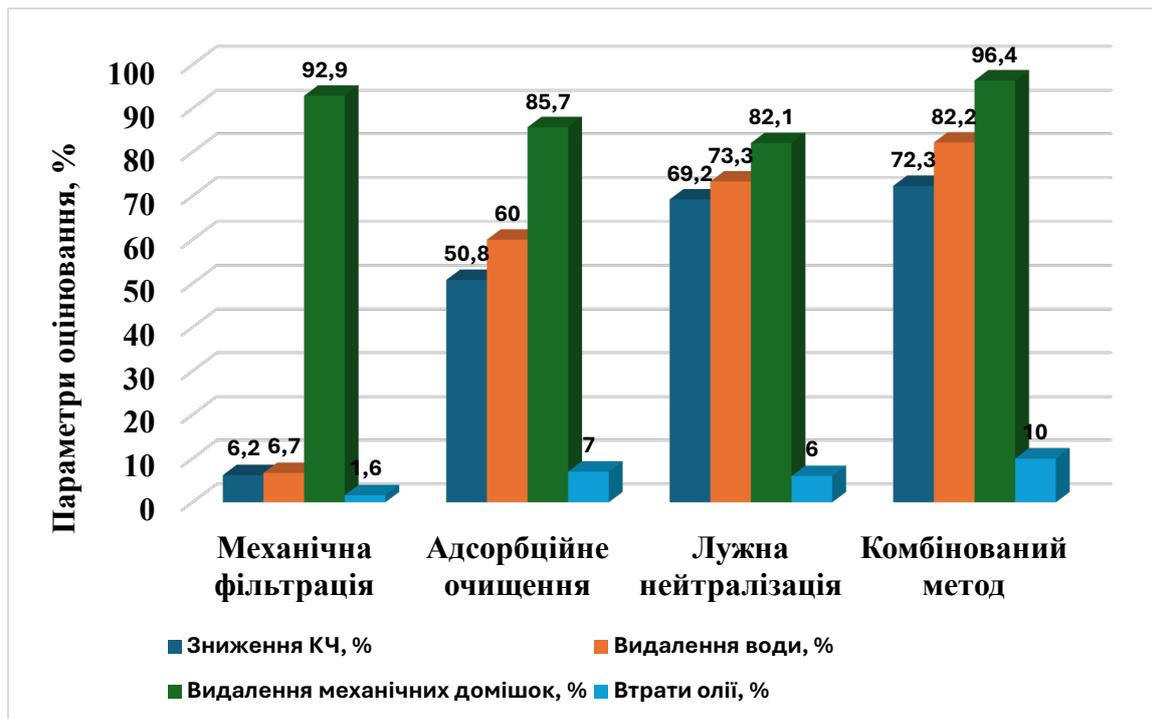


Рисунок 2. Порівняльна оцінка ефективності методів очищення відпрацьованої рослинної олії

Розрахунки показують, що комбінований метод характеризується найвищим інтегральним показником ефективності (72,8), незважаючи на вищі капітальні (25 у.о.) та операційні (12 у.о.) витрати. Адсорбційне очищення демонструє прийнятливий баланс між якістю результату ($E = 62,1$) та витратами.

Отримані в роботі результати підтверджують необхідність та актуальність комплексного підходу до регенерації відпрацьованих рослинних олій та узгоджуються з висновками провідних міжнародних дослідників, які розглядають цю проблему у контексті підготовки сировини до біоенергетичного використання та в аспекті розвитку циркулярної економіки. Разом з тим, проведений аналіз дозволяє виявити як спільні риси, так і значні відмінності між отриманими результатами та даними інших авторів, а також окреслити аспекти, що раніше розглядалися недостатньо детально.

A. Dahiya (2020) та B. Chen *et al.* (2022) у своїх роботах встановили, що відпрацьовані кулінарні олії являють собою економічно привабливу сировину для виробництва дизельного біопалива, однак їх використання істотно обмежується високим кислотним числом, яке перешкоджає проведенню лужної переестерифікації. Автори наголошують на критичній необхідності попереднього очищення та нейтралізації як обов'язкового етапу переробки. Отримані результати повністю підтверджують досліджувану гіпотезу. Встановлено, що без зниження кислотного числа до рівня нижче 2 мг КОН/г подальше енергетичне використання та синтез очищених олій є технологічно ускладненою та неефективною операціями через утворення мил та побічних продуктів.

Водночас у нашому дослідженні додатково оцінено комплексний вплив різних методів очищення не лише на кислотне число, але й на втрати олії та умовну економічну ефективність, що не було детально розглянуто в ряді наукових праць (Ganesan *et al.*, 2021). Тому результати проведених експериментальних досліджень дозволятимуть об'єктивно оцінювати практичну доцільність впровадження тих чи інших схем очищення ВРО на промисловому рівні.

G. Subhash *et al.* (2022) досліджували вплив вільних жирних кислот на перебіг лужної переестерифікації та запропонували двохстадійну схему з попередньою кислотною естерифікацією для олій з високим кислотним числом 25–180 мг КОН/г. Цей підхід передбачає використання сильних кислотних каталізаторів на початковій стадії. На відміну від запропонованого авторами методу, ми зробили акцент на фізико-хімічні методи регенерації (адсорбція, нейтралізація), які дозволяють знизити кислотне число без використання агресивних (корозійних) реагентів та складних двохстадійних каталітичних систем.

Отримані результати свідчать, що комбіновані схеми очищення на основі адсорбції та лужної нейтралізації можуть забезпечити порівнянний ефект при істотно менших екологічних ризиках та знижених вимогах до спеціалізованого обладнання. Це робить такий підхід більш доступним для малих та середніх підприємств біоенергетичного сектору.

М.А. Nazrat *et al.* (2021) у своїх детальних дослідженнях підкреслюють винятково високу ефективність адсорбційних методів очищення для видалення продуктів термічного окиснення, полімеризації та слідів металевих каталізаторів, що залишаються від попередніх циклів термічної обробки. Авторами, встановлено, що адсорбційне очищення з використанням природних адсорбентів (бентоніт, цеоліт) забезпечує зниження кислотного числа більш ніж на 50% та видалення більш ніж 60% вільних жирних кислот.

Водночас результати нашого дослідження показують, що застосування виключно адсорбційних методів супроводжується підвищеними втратами олії (7,0%), що узгоджується з застереженнями, наведеними Р.І. Ahranjani *et al.* (2024) вимагає додаткової оптимізації технологічних параметрів. На основі отриманих даних запропоновано комбінований підхід, який дозволяє мінімізувати втрати за рахунок послідовного комбінування адсорбції з лужною нейтралізацією.

Zulqarnain *et al.* 2021 провели всебічний аналіз основних технологічних схем переробки відпрацьованих олій і дійшли принципово важливого висновку про високу доцільність комбінування кількох методів очищення для досягнення оптимальних результатів. Отримані результати цілком і повністю підтверджують ці висновки, оскільки саме комбіновані схеми, які поєднують механічну фільтрацію, адсорбцію та лужну нейтралізацію, забезпечують максимальне зниження кислотного числа (72,3%) та вмісту води (82,2%).

Значною відмінністю від результатів досліджень К.С. Eldiehy *et al.* (2022) є те, що в нашому дослідженні комбіновані підходи детально оцінювалися також з позицій ресурсозбереження, матеріалоємності та економічної доцільності, а не лише досягнення граничних показників якості, що важливо для практичної реалізації схем у виробництві.

Mushtruk *et al.*, (2022) досліджували попередню підготовку високо кислотних олій в контексті зниження навантаження на каталізатори переестерифікації та запобігання утворення солей жирних кислот (мил), які негативно впливають на виділення та чистоту продукту.

Р.В. Aurtherson *et al.* (2023) стверджують, що критично важливим є забезпечення стабільності та відтворюваності показників якості сировини при розробці та впровадженні комерційних технологій виробництва рідких біопалив на основі ВРО та технічних тваринних жирів. Авторами запропонований системний аналіз технологічної складності процесів регенерації та їх впливу на стабільність показників якості, що дозволяє більш обґрунтовано оцінювати доцільність впровадження тих чи інших схем на промисловому рівні та передбачати можливі проблеми масштабування.

Mushtruk *et al.* (2024) провели порівняння різних типів сировини для виробництва дизельного біопалива (чиста рослинна олія, тваринні жири та відпрацьовані олії) та встановили суттєві основні переваги та недоліки використання відпрацьованих олій, основні з них порівняно невелика ринкова вартість в порівнянні з первинною сировиною.

За результатами проведених досліджень вищезазначений аспект розширено та деталізовано за рахунок розширеного аналізу технологічних втрат олії на стадії регенерації та

розрахунку загальної економічної ефективності, що дозволяє точніше оцінювати реальний ресурсний потенціал вторинної сировини та рентабельність процесу.

ВИСНОВКИ. У роботі здійснено порівняльний аналіз методів регенерації відпрацьованих рослинних олій з позицій ефективності очищення, технологічної доцільності та економічних показників. Досліджено механічну фільтрацію, адсорбційне очищення, лужну нейтралізацію та комбінований метод, що дозволило обґрунтувати оптимальну схему підготовки вторинної олійної сировини для подальшого використання в біоенергетичних процесах.

Встановлено, що комбінований метод регенерації характеризується найвищою інтегральною ефективністю ($E = 72,8$) та забезпечує зниження кислотного числа на 72,3% (до 1,8 мг КОН/г), видалення вологи на 82,2% і механічних домішок на 96,4 % при втраті олії на рівні 10,0%. Механічна фільтрація ефективна виключно для видалення твердих домішок (92,9%) і є доцільною лише як попередня стадія очищення. Адсорбційний метод забезпечує помірне зниження кислотного числа (50,8%) та видалення полярних сполук, проте супроводжується втратами олії близько 7,0%, що обмежує його застосування як самостійного процесу.

Оптимальні параметри комбінованого методу встановлено для температури 55 °С, співвідношення олія : адсорбент 20–25 : 1, двох циклів адсорбції та використання гідроксиду натрію у кількості 1,10 від теоретично необхідної. Економічна оцінка підтвердила доцільність впровадження запропонованої технології на підприємствах з річним обсягом переробки понад 5 т відпрацьованої олії.

Подальші дослідження доцільно спрямувати на оптимізацію регенерації та повторного використання адсорбентів, оцінювання впливу параметрів регенерованої олії на властивості біодизеля, інтеграцію комбінованого методу з мембранними технологіями, а також розробку систем автоматизації та технологічного моніторингу процесу. Окремим перспективним напрямом є масштабування процесу до промислових обсягів із детальним техніко-економічним обґрунтуванням.

Результати дослідження підтверджують технологічну та економічну доцільність застосування комбінованого методу регенерації відпрацьованих рослинних олій і свідчать про його перспективність як ефективного інструменту ресурсозбереження та розвитку біоенергетичних технологій у межах концепції циркулярної економіки.

Подяки. Немає.

Конфлікт інтересів. Немає.

References

- Aghbashlo, M., Peng, W., Tabatabaei, M., Kalogirou, S.A., Soltanian, S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., & Lam, S.S. (2021). Machine learning technology in biodiesel research: A review. *Progress in Energy and Combustion Science*, 85, article number 100904. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2021.100904>
- Ahranjani, P.J., Saei, S.F., El-Hiti, G.A., Yadav, K.K., Cho, J., & Rezania, S. (2024). Magnetic carbon nanotubes doped cadmium oxide as heterogeneous catalyst for biodiesel from waste cooking oil. *Chemical Engineering Research and Design*, 201, 176-184. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2023.11.059>
- Ali, S., Shafique, O., Mahmood, S., Mahmood, T., Khan, B.A., & Ahmad, I. (2020). Biofuels production from weed biomass using nano-catalyst technology. *Biomass and Bioenergy*, 139, article number 105595. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2020.105595>
- Aurtherson, P.B., Nalla, B.T., Srinivasan, K., Mehar, K., & Devarajan, Y. (2023). Biofuel production from novel *Prunus domestica* kernel oil: process optimization technique. *Biomass Conversion and Biorefinery*, 13(7), 6249-6255. <https://doi.org/10.1007/s13399-021-01551-5>

- Cheliadyn, L., Ribun, V., & Cheliadyn, V. (2020). Technological and environmental aspects of improving the biodiesel production from vegetable oils. *Ecological Safety and Balanced Use of Resources*, 11(2), 83-91. [https://doi.org/10.31471/2415-3184-2020-2\(22\)-83-91](https://doi.org/10.31471/2415-3184-2020-2(22)-83-91)
- Chen B., Zheng, D., Xu, R., Leng, S., Han, L., Zhang, Q., Liu, N., Dai, C., Wu, B., Yu, G., & Cheng, J. (2022). Disposal methods for used passenger car tires: One of the fastest growing solid wastes in China. *Green Energy & Environment*, 7(6), 1298-1309. <https://doi.org/10.1016/j.gee.2021.02.003>
- Dahiya, A. (2020, January). Cutting-edge biofuel conversion technologies to integrate into petroleum-based infrastructure and integrated biorefineries. In *Bioenergy* (pp. 649-670). London: Academic Press. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-815497-7.00031-2>
- Eldiehy, K.S., Daimary, N., Borah, D., Sarmah, D., Bora, U., Mandal, M., & Deka, D. (2022). Towards biodiesel sustainability: Waste sweet potato leaves as a green heterogeneous catalyst for biodiesel production using microalgal oil and waste cooking oil. *Industrial Crops and Products*, 187, article number 115467. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2022.115467>
- Elgharbawy, A.S., Sadik, W., Sadek, O.M., & Kasaby, M.A. (2021). A review on biodiesel feedstocks and production technologies. *Journal of the Chilean Chemical Society*, 66(1), 5098-5109.
- Esmaeili, H. (2022). A critical review on the economic aspects and life cycle assessment of biodiesel production using heterogeneous nanocatalysts. *Fuel Processing Technology*, 230, article number 107224. <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2022.107224>
- Gad, M.S., Ağbulut, Ü., Afzal, A., Panchal, H., Jayaraj, S., Qasem, N.A., & El-Shafay, A.S. (2023). A comprehensive review on the usage of the nano-sized particles along with diesel/biofuel blends and their impacts on engine behaviors. *Fuel*, 339, article number 127364. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.127364>
- Ganesan, R., Manigandan, S., Samuel, M.S., Shanmuganathan, R., Brindhadevi, K., Chi, N.T.L., & Pugazhendhi, A. (2020). A review on prospective production of biofuel from microalgae. *Biotechnology Reports*, 27, article number e00509. <https://doi.org/10.1016/j.btre.2020.e00509>
- Hazrat, M.A., Rasul, M.G., Khan, M.M.K., Mofijur, M., Ahmed, S.F., Ong, H.C., & Show, P.L. (2021). Techniques to improve the stability of biodiesel: A review. *Environmental Chemistry Letters*, 19, 2209-2236. <https://doi.org/10.1007/s10311-020-01166-8>
- Hosseinzadeh-Bandbafha, H., Li, C., Chen, X., Peng, W., Aghbashlo, M., Lam, S.S., & Tabatabaei, M. (2022). Managing the hazardous waste cooking oil by conversion into bioenergy through the application of waste-derived green catalysts: A review. *Journal of Hazardous Materials*, 424, article number 127636. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.127636>
- International Organization for Standardization. (2009). Animal and vegetable fats and oils — Determination of acid value and acidity (DSTU EN ISO 660:2009). Kyiv, Ukraine: Derzhspozhyvstandart of Ukraine.
- International Organization for Standardization. (2009). Animal and vegetable fats and oils — Determination of insoluble impurities content (DSTU ISO 663:2009). Kyiv, Ukraine: Derzhspozhyvstandart of Ukraine.
- International Organization for Standardization. (2010). Animal and vegetable fats and oils — Determination of moisture and volatile matter content (DSTU EN ISO 662:2010). Kyiv, Ukraine: Derzhspozhyvstandart of Ukraine.
- Jayaraman, J., Dawn, S.S., Appavu, P., Mariadhas, A., Joy, N., Alshgari, R.A., & Kumar, J.A. (2022). Production of biodiesel from waste cooking oil utilizing zinc oxide nanoparticles combined with tungsto phosphoric acid as a catalyst and its performance on a CI engine. *Fuel*, 329, article number 125411. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125411>
- Konur, O. (2021). Biodiesel and petrodiesel fuels: Science, technology, health, and the environment. In *Biodiesel fuels* (pp. 3-36). Boca Raton: CRC Press. <https://doi.org/10.4324/9780367456238-2>

- Maheshwari, P., Haider, M.B., Yusuf, M., Klemeš, J.J., Bokhari, A., Beg, M., & Jaiswal, A.K. (2022). A review on latest trends in cleaner biodiesel production: Role of feedstock, production methods, and catalysts. *Journal of Cleaner Production*, 355, article number 131588. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.131588>
- Mathew, G.M., Raina, D., Narisetty, V., Kumar, V., Saran, S., Pugazhendi, A., & Binod, P. (2021). Recent advances in biodiesel production: Challenges and solutions. *Science of the Total Environment*, 794, article number 148751. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2021.148751>
- Mushtruk, M., Bal-Prylypko, L., Slobodyanyuk, N., Boyko, Y., & Nikolaienko, M. (2022). Design of reactors with mechanical mixers in biodiesel production. In *Lecture notes in mechanical engineering* (pp. 197-207). Springer: Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-031-06044-1_19
- Mushtruk, M., Mushtruk, N., Slobodyanyuk, N., Vasylyv, V., & Zheplinska, M. (2024). Enhanced energy independence: Converting animal fat into biodiesel. *International Journal of Environmental Studies*, 81(1), 134-144. <https://doi.org/10.1080/00207233.2024.2314860>
- Pasha, M.K., Dai, L., Liu, D., Guo, M., & Du, W. (2021). An overview to process design, simulation and sustainability evaluation of biodiesel production. *Biotechnology for Biofuels*, 14, article number 129. <https://doi.org/10.1186/s13068-021-01977-z>
- Pinheiro, C.T., Quina, M.J., & Gando-Ferreira, L.M. (2021). Management of waste lubricant oil in Europe: A circular economy approach. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, 51(18), 2015-2050. <https://doi.org/10.1080/10643389.2020.1771887>
- Subhash, G.V., Rajvanshi, M., Kumar, G.R.K., Sagaram, U.S., Prasad, V., Govindachary, S., & Dasgupta, S. (2022). Challenges in microalgal biofuel production: A perspective on techno economic feasibility under biorefinery stratagem. *Bioresource Technology*, 343, article number 126155. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126155>
- Suzihaque, M.U.H., Syazwina, N., Alwi, H., Ibrahim, U.K., Abdullah, S., & Haron, N. (2023). A sustainability study of the processing of kitchen waste as a potential source of biofuel: Biodiesel production from waste cooking oil (WCO). *Materials Today: Proceedings*, 63, S484-S489. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.526>
- Tucki, K., Orynych, O., Wasiak, A., Świć, A., Mruk, R., & Botwińska, K. (2020). Estimation of carbon dioxide emissions from a diesel engine powered by lignocellulose derived fuel for better management of fuel production. *Energies*, 13(3), article number 561. <https://doi.org/10.3390/en13030561>
- Vickram, S., Manikandan, S., Deena, S.R., Mundike, J., Subbaiya, R., Karmegam, N., & Awasthi, M.K. (2023). Advanced biofuel production, policy and technological implementation of nano-additives for sustainable environmental management – a critical review. *Bioresource Technology*, 387, article number 129660. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2023.129660>
- Zulqarnain, M., Ayoub, M., Ramzan, N., Nazir, M.H., Zahid, I., Butt, T.A. (2021). Overview of feedstocks for sustainable biodiesel production and implementation of the biodiesel program in Pakistan. *ACS Omega*, 6(29), 19099-19114. <https://doi.org/10.1021/acsomega.1c02402>

Отримано 09.11.2025 р., прийнято до друку 11.01.2026 р.

УДК 664.661

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.60>

ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЕКСТРАКТУ ЧОРНОБРИВЦІВ РОЗЛОГИХ У ХЛІБОПЕКАРСЬКОМУ ВИРОБНИЦТВІ

Галина Вікторівна Карпик

кандидат технічних наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0002-5374-8368>

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України, 46025, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, Україна

Олена Іванівна Вічко

кандидат технічних наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0002-5440-548X>

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України, 46025, вул. Руська, 56, м. Тернопіль, Україна

Світлана Михайлівна Марчишин

доктор фармацевтичних наук, професор

<https://orcid.org/0000-0001-9585-1251>

Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського Міністерства охорони здоров'я України, 46001, майдан Волі, 1, м. Тернопіль, Україна

Людмила Володимирівна Слободянюк

кандидат фармацевтичних наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0002-0400-1305>

Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського Міністерства охорони здоров'я України, 46001, майдан Волі, 1, м. Тернопіль, Україна

Лілія Іллівна Будняк

кандидат фармацевтичних наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0002-4869-1344>

Тернопільський національний медичний університет імені І. Я. Горбачевського Міністерства охорони здоров'я України, 4600, майдан Волі, 1, м. Тернопіль, Україна

Анотація. У статті розглянуто можливість використання екстракту квіток чорнобривців розлогих (*Tagetes patula L.*) у технології хлібобулочних виробів з метою підвищення їхньої біологічної та харчової цінності. Актуальність роботи зумовлена зростанням інтересу населення до здорового способу життя. Все частіше спостерігаються метаболічні порушення в організмі людини: цукровий діабет 2 типу, серцево-судинні захворювання, гіпертонія, ожиріння, гіперглікемія. Глікемічний індекс борошняних виробів залежить від таких факторів як вид зернової культури з якої виготовлене борошно, вмісту в ньому легкозасвоюваних вуглеводів, оболонкових частин зерна, наявності у складі рецептурних компонентів біологічно активних речовин, зокрема амінокислот та поліфенольних сполук.

Вміст амінокислот в екстракті чорнобривців встановлювали шляхом ГХ/МС-аналізу. Використовували газовий хроматограф Agilent 6890N, із детектором 5973. У результаті дослідження виявлено 12 амінокислот, серед яких відмічено найбільший вміст L-проліну (138,20 мг/г). Також виявлено значні кількості L-аспарагінової кислоти й L-глутамінової кислоти - 19,64 мг/г та 21,63 мг/г відповідно. Екстракт містить також гліцин (32,15 мг/г), лізин (8,11 мг/г). При виборі оптимального дозування опирались на фізіологічні потреби організму людини. Встановлено, що введення екстракту чорнобривців у рецептуру булочного виробу в кількості 0,021 г на 100 г продукту не змінює показників кислотності, пористості м'якушки та формостійкості хлібобулочного виробу. Біологічно активні

речовини, наявні в екстракті та обране дозування не чинять істотного впливу на білково-протеїназний комплекс борошна, органолептичні та фізико-хімічні характеристики готової продукції.

Таким чином, аналіз хімічного складу екстракту з суцвіть чорнобривців *Tagetes patula* L. засвідчив високий вміст цінних сполук, що визначає перспективність використання його у харчовій промисловості. Внесення екстракту в рецептурний склад булочки не призводить до істотних змін показників її якості та дає можливість розширити асортимент хлібобулочних виробів функціонального спрямування.

Ключові слова: екстракт з квітів *Tagetes patula* L., хлібобулочні вироби, біологічна цінність, L-пролін, гліцин, лізин.

УДК 664.661

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.60>

PROSPECTS FOR THE USE OF FRENCH MARIGOLD (*TAGETES PATULA* L.) EXTRACT IN BAKERY PRODUCTION

Halyna Karpyk

PhD, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0002-5374-8368>

Ternopil Ivan Puluj National Technical University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, 46025, 56 Ruska Str., Ternopil, Ukraine

Olena Vichko

PhD, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0002-5440-548X>

Ternopil Ivan Puluj National Technical University of the Ministry of Education and Science of Ukraine, 46025, 56 Ruska Str., Ternopil, Ukraine

Svitlana Marchyshyn

Doctor of Pharmaceutical Sciences, Professor

<https://orcid.org/0000-0001-9585-1251>

Ternopil National Medical University I. Horbachevsky of the Ministry of Health of Ukraine 46001, Maidan Voli, 1, Ternopil, Ukraine

Liudmyla Slobodianiuk

PhD, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0002-0400-1305>

Ternopil National Medical University I. Horbachevsky of the Ministry of Health of Ukraine 46001 Maidan Voli, 1, Ternopil, Ukraine

Liliia Budniak

PhD, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0002-4869-1344>

Ternopil National Medical University I. Horbachevsky of the Ministry of Health of Ukraine 46001, Maidan Voli, 1, Ternopil, Ukraine

Abstract. The article explores the potential use of an extract derived from French marigold (*Tagetes patula* L.) flowers in bakery products to enhance their biological and nutritional value. The study is relevant due to growing public interest in maintaining a healthy lifestyle. Metabolic disorders such as type 2 diabetes, cardiovascular diseases, hypertension, obesity, and hyperglycemia are increasingly common. The glycemic index of flour products depends on factors including the type of grain used, the concentration of rapidly assimilated carbohydrates, the presence of grain bran particles, and the inclusion of biologically active compounds, particularly amino acids and polyphenolic substances.

The amino acid content of the marigold extract was determined by GC/MS analysis using an Agilent 6890N gas chromatograph with a 5973 detector. Twelve amino acids were identified, with the highest amount of L-proline (138.20 mg/g). Significant amounts of L-aspartic acid and L-glutamic acid were also detected (19.64 mg/g and 21.63 mg/g, respectively). The extract additionally contains glycine (32.15 mg/g) and lysine (8.11 mg/g). The optimal dosage was selected based on physiological requirements. Incorporating 0.021 g of marigold extract per 100 g of bakery product does not affect acidity, crumb porosity, or loaf shape stability. Biologically active compounds in the extract have no significant effect on the flour protein–proteinase complex or on the organoleptic and physicochemical characteristics of the final product.

Thus, chemical analysis of *Tagetes patula* L. inflorescences confirms a high content of valuable compounds, supporting their promising use in the food industry. Adding the extract does not substantially change quality indicators and allows expansion of the functional bakery product assortment.

Keywords: *Tagetes patula* L. flower extract, bakery items, biological value, L-proline, glycine, lysine.

ВСТУП. Останніми роками все більше уваги приділяється здоровому способу життя, ключовим чинником якого є раціональне та збалансоване харчування. У раціоні більшості людей злаки та продукти їхньої переробки є основними джерелами енергії та поживних речовин. Асортимент борошняних продуктів широкий: від різних видів хліба до розмаїття булочних виробів. Основною сировиною для їх виробництва зазвичай є пшеничне борошно вищого сорту. Воно, як відомо, очищене від периферійних частин зерна. З оболонками зерна відходять біологічно активні речовини, харчові волокна. Внаслідок відсутності складних вуглеводів і вмісту значної частки крохмалю таке борошно, й вироби з нього, відносяться до продуктів з високим глікемічним індексом. Слід відмітити присутність таких калорійних рецептурних компонентів як жири та цукор, які підвищують енергетичну цінність виробів. Тому особи із порушеннями обміну речовин або схильністю до метаболічних захворювань змушені обмежувати або повністю виключати такі продукти зі свого раціону.

Регулювати концентрацію глюкози в крові можливо шляхом корекції споживання вуглеводних продуктів, зменшення її засвоєння і пришвидшення виведення. Уповільнити засвоєння цукру допомагають овочі, горіхи, бобові культури та лікарські рослини.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. Харчова поведінка людини з наявними порушеннями обміну речовин або схильністю до них, має бути спрямована на відновлення метаболічної рівноваги організму, попередження ускладнень. Основним принципом раціонального харчування є зниження калорійності раціону шляхом обмеження споживання легкозасвоюваних вуглеводів та жирів, при цьому необхідно забезпечити надходження достатньої кількості білків, вітамінів, мінеральних речовин та харчових волокон. Рекомендовано включати у раціон продукти з низьким глікемічним індексом, а саме: овочі, несолодкі фрукти, вироби з цільозернового борошна. Рослинні волокна, сприяють уповільненню засвоєння глюкози й регуляції рівня інсуліну та покращенню травлення (Niankovska et al., 2021; Wee and Henry, 2020; Yurchak et al., 2013).

На сьогодні асортимент хлібобулочних виробів для людей із цукровим діабетом залишається незначним. Використання синтетичних підсолоджувачів є дискусійним питанням, і в деяких країнах їх застосування у харчових продуктах заборонено. Для заміни сахарози переважно застосовують цукрозамінники: сорбіт і ксиліт, рідше - фруктозу та лактулозу (Buyalska et al., 2020). Цукри, які використовуються у хлібопекарському виробництві, мають не однакові технологічні властивості та ступінь солодкості.

Знизити рецептурний вміст сахарози без зменшення інтенсивності солодкого смаку виробів дозволяє комплексний технологічний підхід (Müller et al., 2021). Він включає

використання підсолоджувача ізомальтоолігосахариду, полісахаридних гідролаз для отримання цукрів з полісахаридів борошна та способу приготування тіста на заквасці.

Розглядалась можливість регулювати ступінь глікемічності борошняних виробів за допомогою резистентного крохмалю. За рахунок здатності до ферментації у товстому кишківнику, він проявляє пребіотичні властивості. Результати впливу добавки на якість виробів є неоднозначними і залежать від сировини - джерела крохмалю та виробника. У всіх випадках подовжується час зберігання хлібобулочних виробів (Khomichak et al., 2022; Rosell and Santos, 2022).

Для сповільнення адсорбції глюкози при споживанні борошняних виробів вчені рекомендують звертати увагу на сировину багату інуліном. Окрім уповільнення гідролізу вуглеводів він знижує рівень холестерину і тригліцеридів у крові та ліпогенез, має антиоксидантну та детоксикаційну дію (виводить радіонукліди та кетонів тіла з організму), покращує стан серцево-судинної системи, нормалізує обмін речовин і запобігає розвитку тяжких ускладнень діабету (ретинопатія, ангіопатія тощо) (Marchyshyn et al., 2021). Присутність продуктів переробки цикорію у дріжджовому борошняному напівфабрикаті забезпечує його хороші структурно-механічні властивості (зокрема еластичність та стабільність), скорочення тривалості приготування тіста завдяки інтенсифікації процесу бродіння. Вироби мають подовжений термін зберігання (Buyalska et al., 2020).

Порошок топінамбура, який є джерелом інуліну, додатково збагачує хліб мінеральними та пектиновими речовинами. У разі внесення його у тісто в кількості до 3 % відбувається інтенсивніше зброджування цукрів дріжджами, підвищується газоутворювальна здатність тіста та зменшується вміст цукрів у готовому хлібі (Voloshchuk, 2019).

На сьогодні відомо близько 200 видів рослин, які мають антидіабетичні властивості (Marchyshyn et al., 2021; Marchyshyn et al., 2023; Vlasenko and Davtian, 2021).

Антигіперглікемічна дія рослин зумовлена наявністю різноманітних біологічно активних речовин, зокрема: амінокислот (аргінін, інозитол, гуанідин), що мають інсуліноподібну дію; поліфенольних сполук, які виявляють антиоксидантну активність, пригнічуючи перекисне окиснення ліпідів, прискорюють утилізацію токсичних продуктів, стабілізують структуру клітинних мембран і стимулюють регенераційні процеси в організмі (Marchyshyn et al., 2021; Vlasenko and Davtian, 2021).

До таких рослин належать чорнобривці розлогі (*Tagetes patula* L.), рід *Tagetes* L., родина айстрові (*Asteraceae*) - перспективна лікарська та декоративна рослина з широким спектром фармакологічної активності: антибактеріальною, інсектицидною, ранозагоювальною, протизапальною, антиоксидантною, гепатопротекторною, гіпоглікемічною, знеболювальною тощо (Slobodianiuk et al., 2021).

Встановлено, що чорнобривці містять цінні біологічно активні сполуки: флавоноїди, гідроксикоричні кислоти, ефірну олію, полісахариди, органічні та жирні кислоти, амінокислоти (Politi et al., 2017; López et al., 2018). Вони володіють здатністю до біосинтезу практично всіх амінокислот, тоді як організм людини синтезує лише обмежену їх кількість. У зв'язку з цим незамінні амінокислоти мають надходити з харчовими продуктами, що зумовлює важливість пошуку природних джерел з оптимальним амінокислотним складом.

Завдяки широкому спектру фармакологічної активності рослина відома у фармацевтичній та парфумерній промисловостях. Чорнобривці також використовують у виробництві консервів, в рецептурі соусів, вводять у склад суміші спецій. У наукових джерелах інформація щодо використання чорнобривців у харчовій промисловості є обмеженою.

Мета дослідження. Виготовити екстракт з квіток чорнобривців *Tagetes patula* L. Визначити вміст амінокислот та дослідити його вплив на споживчі властивості хлібобулочних виробів: білково-протеїназний комплекс борошна, формостійкість, пористість, кислотність булочного виробу, його органолептичні показники якості.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Квітки чорнобривців розлогих (*Tagetes patula* L.) збирали на дослідних ділянках відділу нових культур Національного ботанічного саду ім. М. М. Гришка НАН України (м. Київ). Надземну частину заготовляли в період масового цвітіння.

Виготовлення екстракту. 500 г висушеної сировини подрібнювали та екстрагували 60 % етиловим спиртом в екстракторі. Отримані екстракти концентрували у вакуумі та висушували за допомогою роторного випарювача під зниженим тиском.

Амінокислотний склад екстракту з квіток *Tagetes patula* L. визначали методом газової хроматографії з мас-спектрометричним детектором (ГХ/МС) на хроматографі Agilent 6890N з мас-детектором 5973 Inert (Agilent Technologies).

Зразки аналізували на капілярній колонці HP-5MS (Budniak et al., 2022). Передколонкова дериватизація здійснювалася автоматично.

Ідентифікацію амінокислот здійснювали методом порівняння контрольного часу виходу амінокислот і наявності характерних молекулярних та фрагментних іонів. Кількісне визначення здійснювали з використанням внутрішнього стандарту - норваліну, який додавали до зразка. Вміст зв'язаних амінокислот визначали шляхом віднімання кількості вільних амінокислот від їх загального вмісту (Chen et al., 2010).

Для з'ясування впливу екстракту квітів чорнобривців (*Tagetes patula* L.) на якість булочного виробу було проведено пробне випікання. У рецептуру входила наступна сировина: борошно пшеничне, дріжджі хлібопекарські пресовані, сіль кухонна, цукор білий кристалічний, масло солодковершкове з масовою часткою жиру 72,5 %, екстракт квітів чорнобривців. Тістові заготовки мали округлу форму. Випікання проводили при температурі 190 - 200°C. Готові вироби охолоджували та витримували протягом 4 год. Основні показники якості досліджуваних зразків виробів оцінювали за загальноприйнятими методиками відповідно до чинних нормативних документів.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Згідно результатів ГХ/МС-аналізу, у екстракті з квітів *Tagetes patula* було ідентифіковано дванадцять амінокислот.

Вміст і склад амінокислот наведено на рисунках 1, 2 та в таблиці 1.

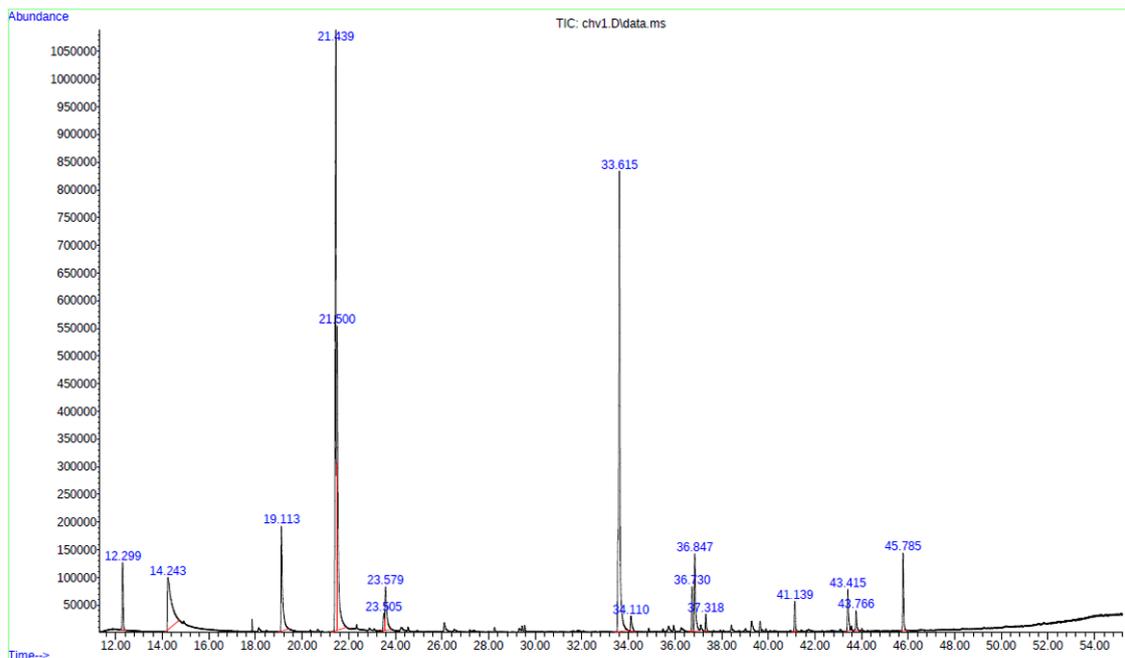


Рисунок 1. ГХ/МС хроматограма вільних амінокислот в екстракті з квіток *Tagetes patula* L.

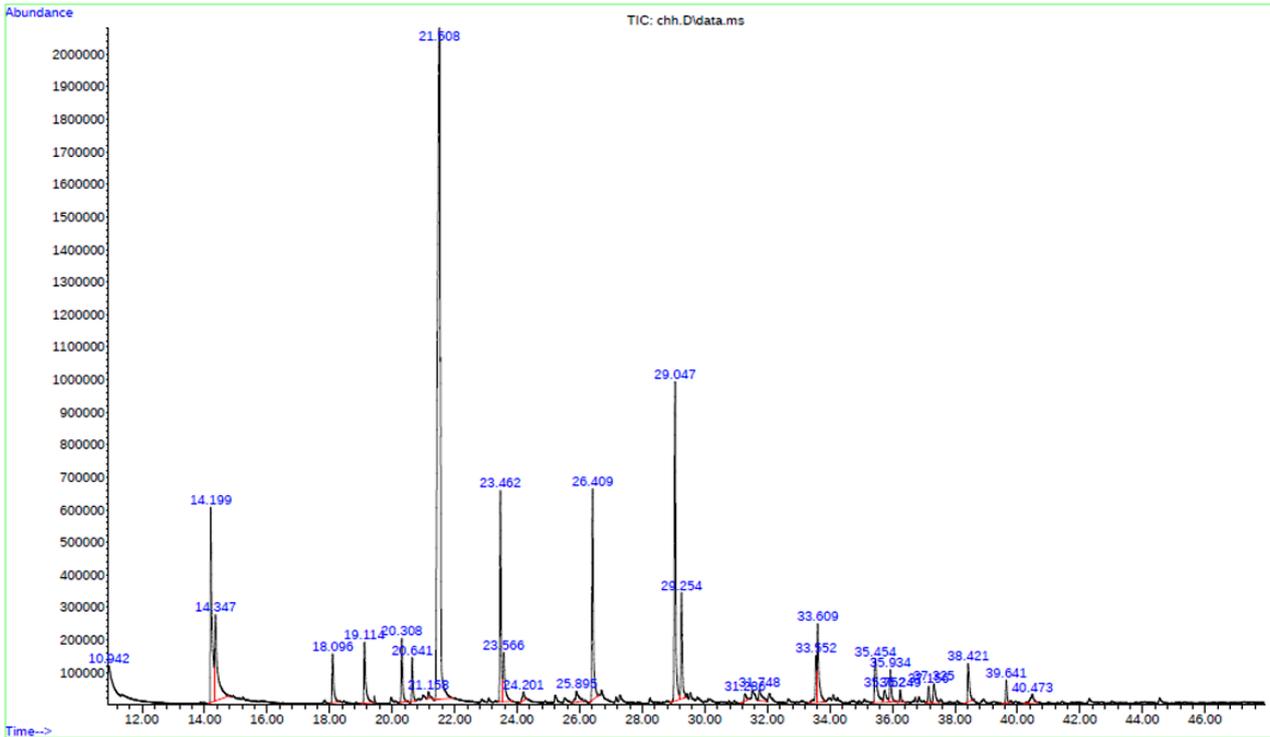


Рисунок 2. ГХ/МС Хроматограма амінокислот після гідролізу в екстракті з квітів *Tagetes patula L.*

Таблиця 1. Вміст амінокислот у екстракті квітів *Tagetes patula L.*

Амінокислоти	RT, хв	Вміст амінокислот, мг/г	
		вільні	зв'язані
Гліцин	11,34±0,02	14,34	17,81±0,03
L-валін	18,12	n/d	5,74±0,02
Норвалін	19,1	внутрішній стандарт	
L-лейцин	20,34	n/d	6,18±0,02
L-серин	20,66	n/d	4,01±0,01
L-треонін	20,908	n/d	n/d
L-ізолейцин	21,15	n/d	0,77±0,01
L-пролін	21,52	57,86±0,04	80,34±0,07
L-аспарагін	21,76	n/d	n/d
L-аспарагінова кислота	23,47	n/d	19,64±0,02
L-глутамінова кислота	26,41	n/d	21,63±0,04
L-метіонін	26,68	n/d	n/d
L-цистеїн	28,77	n/d	n/d
L-фенілаланін	29,26	n/d	11,04±0,03
L-глутамін	31,49	n/d	n/d
L-лізин	35,43	n/d	8,11±0,02
L-гістидин	36,54	n/d	n/d
L-тирозин	38,43	n/d	4,85±0,03
L-триптофан	40,41	n/d	2,22±0,01

Примітка: n/d – не виявлено

Аналіз показав, переважання в досліджуваному екстракті зв'язаних амінокислот – 71,64 %. Встановлено, що одержаний екстракт містить значну кількість L-проліну, загальний вміст якого становив 138,20 мг/г (вільного - 57,86 мг/г, зв'язаного - 80,34 мг/г). Також у екстракті виявлено гліцин у кількості 11,34 мг/г. Така кількість є достатньою для рекомендуванню екстракту у якості функціональної збагачувальної сировини харчових продуктів щоденного споживання. Пролін є регулятором багатьох фізіологічних і біохімічних процесів у клітинах: він бере участь у синтезі поліамінів, аргініну, активує сигнальний шлях mTOR, що відповідає за синтез білків, зокрема колагену (Wu et al., 2011). Гліцин, який відіграє важливу роль при цукровому діабеті - стимулює секрецію інсуліну, глюкагону та GLP-1. Зниження експресії гліцинових рецепторів (GlyR) у клітинах людей із цукровим діабетом 2 типу призводить до порушення секреції інсуліну (Yan-Do et al., 2016). Клінічні дослідження підтверджують, що вищий рівень гліцину в крові знижує ризик розвитку діабету 2 типу (Gao et al., 2017).

Встановлено присутність у зв'язаній формі L-валіну, L-лейцину, L-ізолейцину, L-фенілаланіну, L-лізину, L-тирозину. В екстракті також містилась значна кількість L-аспарагінової (7,7 %) та L-глутамінової (8,5 %) кислот. Ці дані корелюють з результатами досліджень Н. Kozur (2019): із ідентифікованих амінокислот домінували замінні. Серед них в найбільшій кількості виявлено присутність моноамінодикарбонових кислот: глутамінової й аспарагінової. Встановлено найвищий сумарний вміст як зв'язаних у складі білка, так і вільних амінокислот: глутамінової кислоти – 15,7 %, аспарагінової кислоти – 8,9 %.

L-треонін, L-аспарагін, L-метіонін, L-цистеїн, L-глутамін і L-гістидин у досліджуваному екстракті нами не виявлено, однак Н. Kozur (2019) відмічає присутність треоніну, метіоніну, гістидину. Хімічний склад є динамічним і залежить від ряду факторів, а саме: умов вирощування рослини, часу збору, способу екстрагування та ін.

Отримані дані досліджень засвідчують доцільність використання екстракту квітів чорнобривців як перспективного джерела біологічно активних сполук. Порівняльний аналіз кількісного вмісту амінокислот у екстракті квітів *Tagetes patula L.* із рекомендованими добовими нормами для організму людини показав, що включення цієї рослини у раціон може покрити значну частку цих речовин (Paoletti et al., 2024). Зважаючи на фізіологічні потреби людини за оптимальне прийняли дозування екстракту 0,021 г на 100 г булочки. У тісто його вносили у вигляді водяного розчину. Варто зауважити, що в ході проведеного літературного аналізу не було знайдено відомостей про застосування квітів чорнобривців у технології виробництва хліба у формі екстракту. Наявні дані стосуються лише їх використання як добавки у вигляді порошку який дозували у кількостях 1,5-4,5 % (Alotaibi et al., 2021; Kwon et al., 2023).

У формуванні реологічних властивостей тіста, що визначають його поведінку в процесі виготовлення булочки, беруть участь усі рецептурні компоненти. Завдяки білкам, крохмалю, ферментам, мікроорганізмам відбуваються колоїдні, біохімічні, мікробіологічні процеси які забезпечують необхідні зовнішній вигляд, смак, пористість виробів. Водонерозчинні білки є важливою складовою борошна, адже саме вони поглинають значну кількість води у тісті, й утворюють гідратовану субстанцію, яка є еластичною, розтяжною й пружною. Саме клейковина забезпечуватиме структурно-механічні властивості тіста, пористість м'якушки й формостійкість готових виробів. В таблиці 2 наведено результати дослідження впливу екстракту на вміст та властивості сирої клейковини.

Результати досліджень свідчать, що присутність чорнобривців у вигляді екстракту не змінює кількість сирої клейковини. Спостерігається незначне збільшення її розтяжності та гідратаційної здатності. Еластичність клейковини обох зразків хороша. На 3 од. приладу ІДК змінюється її пружність, що є в межах похибки. Частково ці дані корелюють з результатами експериментів Н. Kwon et al. (2023) щодо втрати пружності тіста, внаслідок послаблення клейковини. Зазначається, що зі зростанням кількості порошку чорнобривців у рецептурі спостерігається зниження опору тіста, тоді як його розтяжність помітно підвищується. Також

відмічено зменшення водопоглинальної здатності тіста з порошком без істотних змін термомеханічних властивостей. У проведених нами дослідженнях використання добавки у вигляді екстракту чорнобривців не спричиняло змін реологічних властивостей тіста та не впливало на його здатність поглинати воду. Загалом біологічно активні сполуки, що входять до складу екстракту, не чинять значного впливу на стан клейковинного комплексу. У зв'язку з цим відсутня необхідність коригування технологічних параметрів і режимів приготування борошняного напівфабрикату.

Таблиця 2. Вплив екстракту квітів чорнобривців на показники якості клейковини пшеничного борошна

Показники	Зразки	
	контрольний	з екстрактом
Вміст сирової клейковини, %	24,2±0,5	24,2±0,5
Розтяжність, см	14,5±1	15,5±1
Пружність, од. пр. ІДК	71±5	74±5
Гідратаційна здатність, %	160±2	163±2
Еластичність	хороша	
Колір	світлий	світло-коричневий

Оцінено якість булочки за органолептичними й фізико-хімічними показниками. Порівняння здійснювали з контрольним виробом без добавки. Встановлено, що обидва зразки мали рівну округлу форму, без тріщин. Колір скоринки золотисто-коричневий. Смак властивий булочці, запах квітів не відчувався. Спостерігалась незначна зміна забарвлення м'якушки з білої в контролі до світло кремової у булочці з екстрактом. Дослідження Н. Alotaibi et al. (2021) підтверджують зміну забарвлення м'якушки хліба з додаванням чорнобривців, що проявляється у зниженні показника білизни. Науковці стверджують, що пелюстки квітів доцільно застосовувати як функціональний харчовий інгредієнт з метою покращення забарвлення та підвищення антиоксидантних властивостей хліба.

Як зазначають Н. Kwon et al. (2023), хліб з порошком чорнобривців мав м'якшу структуру порівняно з контролем та демонстрував збільшення питомого об'єму у 1,08 рази. Це пояснюється змінами у вторинній структурі білка і, як наслідок, реологічних властивостях тіста. Водночас Н. Alotaibi et al. (2021) повідомляють, що випечений хліб з порошком чорнобривців у кількості 4,5 % менш м'який, відмічається твердіша структура із збільшенням дозування порошку та менший його об'єм. Ймовірно, відмінності полягають у дозуванні добавки. В нашій роботі спостерігались дещо інші результати. Пористість булочки залишається дрібною, тонкостінною, добре розвиненою. Формостійкість також утримується без змін. Очевидно, така відмінність базується на різниці у підготовці чорнобривців до використання. Адже добавка у вигляді порошку сухих пелюстків чорнобривців містить нерозчинні харчові волокна, які й впливають на розподіл вологи у тісті. Волокниста структура цих сполук впливає й на реологічні властивості м'якушки хлібобулочного виробу. Внаслідок зв'язування води клітковиною порошку підвищується твердість м'якушки хліба. Нами запропоновано використовувати добавку чорнобривців у вигляді екстракту, всі речовини в якому водорозчинні. Тому його присутність не має негативного впливу на структурно-механічні властивості м'якушки булочки й не позначається на її пористості. Внесення чорнобривців у тісто у вигляді екстракту не впливає на час дозрівання напівфабрикату та тривалість вистоювання тістових заготовок. Кислотність булочок із добавкою та контрольного зразка є однаковою і становить $2,4 \pm 0,5$ град.

Таким чином, запропоноване дозування екстракту не чинить істотного впливу на показники якості готового виробу, тому добавку можна рекомендувати як рецептурний компонент для виготовлення булочки.

ВИСНОВКИ. Отримані результати досліджень свідчать, що екстракт квітів *Tagetes patula* L. має широкий амінокислотний склад, що складається з 12 амінокислот, з них три незамінні – валін, фенілаланін, лізин. Це підтверджує перспективність подальших досліджень щодо можливості використання екстракту чорнобривців у хлібопекарській промисловості.

Встановлено, що додавання екстракту квітів чорнобривців в кількості 0,021 г на 100 г булочки неістотно змінює властивості клейковинного каркасу борошна у бік незначного збільшення розтяжності та гідратаційної здатності клейковини. Показник титрованої кислотності, формостійкість виробу, його пористість залишаються постійними. Булочка зі збагачувачем має світло-кремове забарвлення м'якушки та збалансований смак властивий виробу з пшеничного борошна, без стороннього присмаку. Отже, внесення екстракту з чорнобривців сприяє підвищенню харчової та біологічної цінності, розширюючи асортимент функціональної продукції.

В подальшому доцільно визначити вміст амінокислот у готовому у виробі, а також дослідити вплив екстракту з квітів чорнобривців на тривалість зберігання булочки.

Подяки. Немає.

Конфлікт інтересів. Немає.

References

- Alotaibi, H. N., Anderson, A. K., & Sidhu, J. S. (2021). Influence of lutein content of marigold flowers on functional properties of baked pan bread. *Annals of Agricultural Sciences*, 66(2), 162–168. <https://doi.org/10.1016/j.aogas.2021.12.002>
- Budniak, L., Slobodianiuk, L., Marchyshyn, S. & Potishnyi, I. (2022). Determination of amino acids of plants from *Angelica* L. genus by HPLC method. *Pharmacia*, 69(2), 437–446. <https://doi.org/10.3897/pharmacia.69.e83705>
- Buyalska, N. P., Humenyuk, O. L., Denysova, N. M. & Chelyabiyeva, V. M. (2020) Increasing the nutritional value of bakery and flour confectionery products. Monograph, 122 [in Ukrainian].
- Chen, W.P., Yang, X.Y., Hegeman, A.D., Gray, W.M. & Cohen, J.D. (2010). Microscale analysis of amino acids using gas chromatography–mass spectrometry after methyl chloroformate derivatization. *Journal of Chromatography B*, 878(24), 2199–2208. <https://doi.org/10.1016/j.jchromb.2010.06.027>
- Gao, X., Wang, Y., & Sun, G. (2017). High dietary choline and betaine intake is associated with low insulin resistance in the Newfoundland population. *Nutrition* (Burbank, Los Angeles County, Calif.), 33, 28–34. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2016.08.005>
- Khomichak, L., Kuznietsova, I., Paziuk, V., & Kasamvra, A. (2022). Resistant starch in the food industry *Food resources*, 10(19), 151-161 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31073/foodresources2022-19-17>
- Kozyr, H. R. (2019). Study of the amino acid composition of the dry extract of the chornobrivts grass. *Medical and Clinical Chemistry*, (4), 114–119 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.11603/mcch.2410-681X.2018.v0.i4.9823>
- Kwon, H., Lee, D. U., & Lee, S. (2023). Lutein fortification of wheat bread with marigold powder: impact on rheology, water dynamics, and structure. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 103(11), 5462–5471. <https://doi.org/10.1002/jsfa.1262>
- López, E.L., Ortega, M.G.P., Bery, M.T., León, C., Cedillo, F.D., Serrato Cruz, M.Á. (2018). Fungistasis of essential oil extracted from a *Tagetes lucida* population of Hidalgo, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(2), 329–341.
- Marchyshyn, S., Slobodianiuk, L., Budniak, L. & Ivasiuk, I. (2021). Hypoglycemic effect of *Cyperus esculentus* L. tubers extract. *Pharmacol ogyonline*, 2, 1383–1392.

- Marchyshyn, S., Pasyechko, N., Slobodianiuk, L., Budniak, L., Kozyr, G., & Khomitska, A. (2023). Study of sugar-lowering activity of dry extract from stevia leaves. *Fitoterapiia. Chasopys – Phytotherapy. Journal*, 4, 48–56 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.32782/2522-9680-2023-4-48>
- Müller, D.C., Nguyen, H., Li, Q., Schönlechner, R., Miescher Schwenninger, S., Wismer, W. & Gänzle, M. (2021). Enzymatic and microbial conversions to achieve sugar reduction in bread. *Food Research International*, 143, 110-296. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110296>
- Niankovska, O.S., Niankovskiyi, S.L., Yatsula M.S. & Horodylovska, M.I. (2021). Metabolic syndrome – dietary recommendations and nutraceutical correction. *Endokrynologia*, 26(4), 396-408 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.31793/1680-1466.2021.26-4.396>
- Paoletti, A., Courtney-Martin, G., & Elango, R. (2024). Determining amino acid requirements in humans. *Frontiers in nutrition*, 11, 1400719. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1400719>
- Politi, F.A.S., Souza, A.A.J., Fantatto, R.R., Pietro, R., Barioni, W.J., Rabelo, M.D., Bizzo, H.R., de Souza Chagas, A.C. & Furlan, M. (2017). Chemical composition and in vitro anthelmintic activity of extracts of *Tagetes patula* against a multidrug-resistant isolate of *Haemonchus contortus*. *Chemistry & Biodiversity*, 15, P. e1700507. <https://doi.org/10.1002/cbdv.201700507>
- Rosell, CM, & Santos, E. (2010). Impact of fibers on physical characteristics of fresh and staled bake off bread. *Journal of Food Engineering*, 98 (2), 273–281. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.01.008>
- Slobodianiuk, L., Budniak, L., Marchyshyn, S., Kostyshyn, L., & Ezhned, M. (2021). Determination of amino acids content of the *Tagetes lucida* Cav. by GC/MS. *Pharmacia*, 68(4). 859–867. <https://doi.org/10.3897/pharmacia.68.e73325>
- Vlasenko, I.O., & Davtian, L.L. (2021). Audit of prepackaged products of medicinal plants used for diabetes on the pharmaceutical market of Ukraine. *Ukrainy Fitoterapiia. Chasopys*, 3, 53–61 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.33617/2522-9680-2021-3-53>
- Voloshchuk, H.I., Yarkovyi, A.O, Polutska, B.M., & Pashova, N.V. (2019). Study of the effect of Jerusalem artichoke powder on the sugar content of rye custard bread. *Scientific works of National university of food technologies*, 25, 3, 253–263 [in Ukrainian]. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Npnukht_2019_25_3_29
- Wee, M. S. M., & Henry, C. J. (2020). Reducing the glycemic impact of carbohydrates on foods and meals: Strategies for the food industry and consumers with special focus on Asia. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 19(2), 670–702. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12525>
- Wu, G., Bazer, F. W., Burghardt, R. C., Johnson, G. A., Kim, S. W., Knabe, D. A., Li, P., Li, X., McKnight, J. R., Satterfield, M. C., & Spencer, T. E. (2011). Proline and hydroxyproline metabolism: implications for animal and human nutrition. *Amino acids*, 40(4), 1053–1063. <https://doi.org/10.1007/s00726-010-0715-z>
- Yan-Do, R., Duong, E., Manning Fox, J. E., Dai, X., Suzuki, K., Khan, S., Bautista, A., Ferdaoussi, M., Lyon, J., Wu, X., Cheley, S., MacDonald, P. E., & Braun, M. (2016). A Glycine-Insulin Autocrine Feedback Loop Enhances Insulin Secretion From Human β -Cells and Is Impaired in Type 2 Diabetes. *Diabetes*, 65(8), 2311–2321. <https://doi.org/10.2337/db15-1272>
- Yurchak, V. & Karpyk, H. (2013). Effect of dough making parameters on the quality of pasta enriched with bran dietary fibers. *Food chemistry and technology*, 47(2), 41– 47.

Отримано 01.11.2025 р., прийнято до друку 11.02.2026 р.

УДК 664.661:663.12

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.70>

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРСПЕКТИВ ВИКОРИСТАННЯ ВИННИХ ДРІЖДЖІВ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПШЕНИЧНОГО ХЛІБА

Тетяна Євгенівна Лебеденко

Доктор технічних наук, професор

<https://orcid.org/0000-0001-8385-4674>

Одеський національний технологічний університет

65039, вул. Канатна, 112 м. Одеса, Україна

Оксана Вікторівна Ткачук

Старший викладач, аспірант

<https://orcid.org/0000-0002-1942-0377>

Одеський національний технологічний університет

65039, вул. Канатна, 112 м. Одеса, Україна

Олена Миколаївна Кананихіна

Кандидат технічних наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0001-6291-7760>

Одеський національний технологічний університет

65039, вул. Канатна, 112 м. Одеса, Україна

Тетяна Вікторівна Бровенко

Кандидат технічних наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0003-1552-210>

Національний університет біоресурсів і природокористування України

03041, вул. Виставкова, 16 м. Київ, Україна

Анотація. Сучасний розвиток хлібопекарського виробництва в Україні характеризується формуванням стійких напрямів - це розширення асортиментної структури продукції з орієнтацією на підвищення її харчової та біологічної цінності; розроблення крафтових хлібобулочних виробів на основі науково обґрунтованих рекомендацій нутриціології, а також проведення комплексних досліджень інноваційних технологій.

Стаття спрямована на дослідження технології підготовки та активації сухих «винних» дріжджів з червоного та білого винограду з метою їх адаптації до хлібопекарських напівфабрикатів та виготовлення пшеничного хліба з їх використанням. Аналізом літературних джерел підтверджено актуальність відродження регіональних традицій хлібопечення, культурно-генетичних особливостей харчування населення; адаптацію до локальної сировини та технологій, що ґрунтуються на використанні спонтанного бродіння з глибоким перебігом фізико-хімічних, колоїдних, біохімічних і мікробіологічних процесів тістоприготування.

У роботі запропоновано постадійну схему приготування сухих винних дріжджів з вологістю 16...18 % з червоного винограду сорту Зайбер і білого винограду сорту Ркацетелі, вирощених в Одеській області. Розроблено технологію активації сухих "винних" дріжджів, яка передбачає отримання оцукреної борошняної заварки та подальшу активацію дріжджів з щоденним розведенням водно-борошняним поживним середовищем. Вивчено біотехнологічні властивості напівфабрикату з часткою винних дріжджів з білого та червоного винограду 5 та 7 % до маси борошна; визначено показники хлібопекарних властивостей рідкого напівфабрикату. Вивчено вплив параметрів технологічного процесу, зокрема температури бродіння, процесу заварювання борошна, оцукрювання заварки тощо на формування хлібопекарних властивостей. Високі показники хлібопекарських властивостей отримано при внесенні винних дріжджів з білого винограду в кількості 7 % до маси борошна при температурі ферментації 25...27°C. Встановлено загальні і специфічні органолептичні показники зразків

рідких "винних" дріжджів. Технологією приготування тіста передбачено безопарний спосіб, на густій та на рідкій опарах; контрольні зразки приготовано за традиційною технологією.

На основі досліджень визначено параметри технологічного процесу виготовлення опари, тіста та готових хлібних виробів. За результатами дослідницького випікання вивчено органолептичні, фізико-хімічні показники якості хлібних виробів, виготовлених на опарах та безопарним способом з повною заміною пресованих дріжджів спонтанними рідкими "винними" дріжджами. Технології рекомендовано для міні-підприємств, крафтових пекарень.

Ключові слова: хлібні вироби, бродіння, технологія, показники якості.

UDC 664.661:663.12

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.70>

RESEARCH ON THE PROSPECTS OF USING WINE YEASTS FOR THE PRODUCTION OF WHEAT BREAD

Tetiana Lebedenko

Doctor of technical sciences, Professor

<https://orcid.org/0000-0001-8385-4674>

Odesa National University of Technology

65039, 112 Kanatna Str., Odesa, Ukraine

Oksana Tkachuk

Senior Lecturer, postgraduate student

<https://orcid.org/0000-0002-1942-0377>

Odesa National University of Technology

65039, 112 Kanatna Str., Odesa, Ukraine

Olena Kananykhina

PhD in technical sciences, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0001-6291-7760>

Odesa National University of Technology

65039, 112 Kanatna Str., Odesa, Ukraine

Tetyana Brovenko

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0003-1552-210>

National University of Life Resources and Environmental Sciences of Ukraine

03041, 16 Vystavkova St., Kyiv, Ukraine

Abstract. The contemporary development of the bakery industry in Ukraine is characterized by the formation of stable trends, including the expansion of the product assortment, with a focus on increasing the nutritional and biological value; the development of craft bakery products based on scientifically substantiated nutritional recommendations; and the implementation of comprehensive research into innovative technologies.

This article is aimed at studying the technology of preparation and activation of dry "wine" yeasts obtained from red and white grapes in order to adapt them to bakery semi-finished products and to produce wheat bread using these yeasts. An analysis of literature sources confirms the relevance of reviving regional baking traditions and culturally determined dietary patterns, as well as of adapting technologies to local raw materials and processes based on spontaneous fermentation, with an intensive course of physicochemical, colloidal, biochemical, and microbiological processes in dough preparation.

The study proposes a stage-by-stage scheme for producing dry wine yeasts with a moisture content of 16–18% from red grapes of the Seibel variety and white grapes of the Rkatsiteli variety grown in the Odesa region. A technology for activating dry "wine" yeasts has been developed, which

involves preparing saccharified flour, scalding, and subsequent yeast activation with daily dilution in a water–flour nutrient medium.

The biotechnological properties of the semi-finished product containing 5% and 7% wine yeasts from white and red grapes (based on flour weight) were investigated, and the baking performance indicators of the liquid semi-finished product were determined. The influence of technological process parameters, in particular fermentation temperature, flour scalding, and saccharification, on the development of baking properties was studied. High baking performance indicators were obtained with white-grape wine yeasts at a 7% dosage relative to flour weight and a fermentation temperature of 25–27°C. General and specific organoleptic characteristics of liquid “wine” yeast samples were established.

The dough preparation technology included straight-dough, thick-sponge, and liquid-sponge methods, while control samples were produced using conventional technology. Based on the research results, the technological parameters for sponge preparation, dough processing, and finished bakery products were determined. According to the results of experimental baking, the organoleptic and physicochemical quality indicators of bakery products produced using the sponge and straight-dough methods, with complete replacement of compressed yeast by spontaneous liquid “wine” yeasts, were evaluated. The proposed technologies are recommended for small-scale enterprises and craft bakeries.

Keywords: bakery products, fermentation, technology, quality indicators.

ВСТУП. Історично хліб має особливу цінність в харчуванні людства, він є одним із основних найдавніших, найбільш стабільних і доступних джерел енергії, харчових і біологічно активних речовин. Особливе відношення і повага до нього зберігається на рівні генетичної пам'яті. Хліб і технологія його виготовлення формувалися тисячоліттями - від стародавнього Єгипту, трипільської культури до сьогодення (Mykolenko et al., 2023). Він супроводжує людину все життя, як щоденний базовий продукт харчування, як святиня і обрядовий хліб до календарних та сімейних свят (Tvorun and Tsvigun 2019). Споживання хліба є високим у багатьох країнах світу. Одна з головних причин полягає в тому, що пшениця - це злак, здатний адаптуватися до різних ґрунтів і клімату. Природа заклала в нього цілий комплекс поживних та біологічно активних речовин, які зберігають свою цінність та активність тривалий час (Mesta-Corral et al., 2024). Значення хліба протягом всього життя людини надзвичайно важливе. Хлібні вироби, крім енергетичної цінності та джерела пластичних речовин, виконують регуляторні функції в організмі людини, та в залежності від рецептури і технології приготування можуть проявляти ліпотропні, детоксикаційні, антиоксидантні властивості, здатні покращувати роботу шлунково-кишкового тракту (Antonenko et al., 2023), засвоюваність їжі тощо (Aghalari et al., 2022).

Важливим для формування цінних споживчих властивостей хліба є застосування заквасок і процесів бродіння при приготуванні (Alkay et al., 2024). Ферментація в заквасці є природним процесом формування яскравих смаку та аромату хліба, особливої текстури м'якушки, підвищення доступності поживних речовин та мінералів (Islam and Islam, 2024). Визначним у формуванні певних властивостей хліба є вид та гатунок борошна, що використовується, спосіб ініціації та особливості організації бродіння тіста, включення додаткових інгредієнтів, застосування традиційних та інноваційних технологій. Це борошно пшеничне цільнозмелене та з полби, спельти, бобових, відходи харчової промисловості - шкірка фруктів, картоплі, кавова гуща, залишки подрібнених горіхів, побічні продукти пивоваріння тощо (Hernández-Figueroa et al., 2024, Islam and Islam, 2024). Також це можуть бути попередньо оброблені продукти - з молока, пророщена пшениця, хмелева закваска, кабакове пюре, порошок розторопші тощо (Semko et al., 2024).

З огляду на роль хліба у забезпеченні життєдіяльності та збереженні здоров'я людини, яка у кризові часи тільки зростає, для вирішення проблеми підвищення його якості актуальним завданням для українських науковців є розроблення стійких в умовах викликів воєнного часу технологій хлібної продукції з високими споживчими властивостями, заданою функціонально-фізіологічною дією. Вирішити це завдання можна за рахунок відродження

регіональних традицій хлібопечення, що відображають культуру, генетичний код і харчову поведінку народу. Такі традиції адаптовані до місцевого клімату і локальної сировини, використовують спонтанне бродіння та глибоке протікання фізико-хімічних, колоїдних, біохімічних і мікробіологічних процесів тістоприготування. Інтерес науковців до проблем виробництва хліба на спонтанних заквасках перебуває на стадії розвитку, але число публікацій, їх зростання, насамперед закордонних, вказує на зацікавленість та її актуальність вже тривалий час (Holubchuk et al., 2024).

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. Питаннями відродження регіональних традицій хлібопечення, їх адаптації до сучасних умов займалися такі вітчизняні вчені в галузі хлібопечення, як Дробот В.І., Юрчак В.Г., Рак В.П., Науменко О.В., Пшенишнюк Г.Ф., Сильчук Т.А., Михонік Л.А., Челябієва В.М., Миколенко С.Ю., Соколова Н.Ю., Гетьман Н.А., Семко Т. та інші, етнографи Творун С.О., Артюх Л.Ф., Сумцов Н.Ф., Зюбровський А.В., Глушко М.М., Ципишев С.І. та інші дослідники.

Характерною особливістю давніх національних технологій приготування хліба є тривале приготування тіста з використанням спонтанних заквасок. Для їх виведення використовували пшеничне, житнє або інші види борошна, для швидшого формування заданих технологічних властивостей вносили пивні, винні дріжджі, інші носії бродильної мікробіоти, для контролю видового складу мікробіому заквасок додавали хмелеві екстракти, пряно-ароматичні рослинні добавки тощо (Lau et al., 2021).

Технології хліба на спонтанних заквасках мають низку переваг, які і зумовлюють зростання інтересу до них з боку споживачів, виробників і дослідників: 1) формування яскравих традиційних хлібних або особливих смаку і аромату; 2) покращення структурно-механічних властивостей м'якушки, її еластичності і текстури; 3) подовження термінів збереження свіжості, усунення надмірної крихкості; 4) підвищення мікробіологічної стійкості при зберіганні; 5) покращення функціонально-фізіологічних властивостей хліба - засвоюваності та біодоступності поживних та біологічно активних речовин, зниження алергенної дії гліадину, глікемічного індексу і т.д. (Alkay et al., 2024, Islam and Islam, 2024, Lau et al., 2021).

Однак виготовлення хліба на основі спонтанного бродіння, крім зазначених вище переваг має і проблеми, що гальмують їх впровадження. Це, насамперед, обмеженість інформації з даного напрямку щодо рецептур і організації процесу на стадії виведення закваски, її ведення на виробництві, приготування тіста, відсутність чітких вимог до якості сировини, технологічних властивостей та мікробіому заквасок, напівфабрикатів на їх основі, а також сенсорних характеристик, фізико-хімічних, функціонально-фізіологічних показників готових виробів. Відсутні рекомендації з ефективних методів оцінки сировини, напівфабрикатів і продукції та контролю перебігу технологічного процесу, що забезпечує формування заданої якості продукції. На вирішення цих проблем і спрямовані дослідження науковців за кордоном і в Україні.

Останніми роками зростає інтерес до вивчення нових технологічних та функціональних властивостей дріжджів та до використання не-*Saccharomyces* штамів як альтернативних джерел пекарських дріжджів. Встановлено можливість їх використання як ініціаторів бродіння. Це мікроорганізми *Torulasporea delbrueckii*, *Candida milleri*, *Candida humilis*, *Pichia anomala* і *Kazachstania exigua*, які використовувалися в пивоварінні, виноробстві, при приготуванні сирів, комбучі, виявлялися в спонтанних заквасках. Вони зумовлюють позитивні зміни реологічних характеристик тіста, динаміки ферментації, покращення біодоступності мінералів і засвоюваності білків, формування різноманітного ароматичного профілю виробів. Вони корисні для мікробіому людини як пробіотики. Це дозволяє пекарям розробляти нові продукти з особливими сенсорними характеристиками, функціональними властивостями, які будуть задовольняти зростаючий попит на крафтову та преміальну продукцію (Mititiuc et al., 2025, Imre and Crook, 2025).

Такі дослідження відповідають певним трендам розвитку виробництва хліба в Україні та в світі, а саме розширення асортименту в напрямку оздоровлення, збільшення продажів свіжих виробів, крафтового високоякісного та преміального хліба з урахуванням порад нутриціологів та запитів споживачів, використання технологій глибокого протікання фізико-хімічних, колоїдних, біохімічних та мікробіологічних процесів тістоприготування, впровадження ресурсозберігаючих технологій тощо (Hryshchenko, 2025).

Крім того, в умовах війни виробники хлібної продукції, яка стала символом і надією на виживання (Тараненко, 2022), зустрілися з проблемами і викликами, які пов'язані з руйнуванням інфраструктури, логістичними обмеженнями, відключеннями електроенергії, кадровими проблемами та інше. Хлібний бізнес в умовах війни забезпечує продовольчу безпеку українців, він має швидко реагувати на виклики, має бути гнучким з високим рівнем адаптивності, використанням локальної сировини, таких технологій і обладнання, що піддаються корегуванню та переналаштуванню (Ivchenko et al., 2025, Lebedenko et al., 2024).

Відродження національних традицій хлібопечення, використання заквасок спонтанного бродіння, приготування тіста за тривалими технологіями, зокрема холодного бродіння тіста, "зміна культури споживання хліба" тощо може допомогти у досягненні зазначених задач (Naumenko et al., 2023). Кожен регіон України має свої національні традиції хлібопечення, особливості рецептур, технологій, які формувалися під впливом історії, культури, наявних сировинних ресурсів, природи та клімату. Це нематеріальна культурна гастрономічна спадщина України, відродженням якої займаються науковці, етнографи, технологи, мікробіологи.

До таких технологій можна віднести приготування тіста на винних дріжджах. Ця технологія поширена в південних регіонах України (Haydarzhi, 2023) і ввійшла як унікальний інгредієнт до випічки і як цінна гастрономічна спадщина до атласу "Ковчег смаку України".

За історичними даними, зокрема свідченням Плінія Старшого, ще за часів Давнього Риму на території Давньої Італії як збудник бродіння для приготування хліба використовували зріле тісто з попереднього приготування чи сушені винні дріжджі (Morgan, 2015). Винні дріжджі застосовували в регіонах, де займаються виноробством: Болгарія, Румунія, Хорватія, Греція, Португалія, Україна. Їх виробляли в домашніх умовах під час збору і переробки винограду. Цей продукт мав вигляд висушених шматочків тіста різноманітної форми. Підготовлені сушені дріжджі могли зберігатись до 2 років. Домашній досвід приготування хліба на винних дріжджах (інформація зібрана із Саратського району Одеської області України) свідчить про те, що технологія на винних дріжджах досить тривала, смакові і ароматичні характеристики готових виробів відзначалися кращою виразністю порівняно з контрольними зразками. Такий хліб зберігався до 7 діб, не зазнавав мікробіологічного псування.

Доцільність використання винних дріжджів для покращення смаку і аромату хліба підтверджено канадськими вченими (Gélinas & McKinnon, 2018). Проаналізовано 13 штамів найбільш поширених видів винних дріжджів, які порівнювали між собою по газоутворювальній здатності і формуванню легких сполук. Дріжджі, призначені для виробництва хересного вина під комерційною назвою «Flor Sherry», сприяли найбільшому виділенню легких сполук – 2-бутанола, ацетальдегіду, діацетику і інших невідомих сполук.

Проте проблемою при впровадженні винних дріжджів у технологію хліба, крім раніше згаданих, на нашу думку, є відмінності їх фізіологічних і технологічних властивостей порівняно з хлібопекарними. При бродінні виноградного суслу дріжджі знаходяться у рідкому середовищі з високим вмістом моно-, ди- цукрів, а тісто є твердо-рідкою структурою зі значно нижчою вологістю й іншим хімічним складом, тому виникають труднощі в процесі їх адаптації до умов останнього.

МЕТОЮ ДОСЛІДЖЕНЬ є вивчення перспектив використання сухих винних дріжджів в технології пшеничного хліба.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Для приготування тіста використовували борошно пшеничне вищого гатунку від торгової марки "Zernari", борошно пшеничне 1-го гатунку ТМ "Золоте зернятко", які відповідають вимогам ГСТУ 46.004-99, сіль кухонну харчову згідно з ДСТУ 3583:2015, цукор згідно з ДСТУ 4623-2023. Для контрольного зразка використовували дріжджі хлібопекарські пресовані "Львівські", виготовлені за ДСТУ 4812:2007. Для оцукрення заварки використовували солод ячмінний неферментований згідно з ДСТУ 4282-2018.

В дослідженнях готували сухі "винні" дріжджі вологістю 16-18 % з червоного винограду сорту Зайбер і білого винограду сорту Ркацетелі, вирощених в Білгород-Дністровському районі Одеської області в 2023-2024 рр. Спосіб приготування: збирали піну з поверхні виноградного суслу, де відбувалося активне бродіння, ферментація, до неї додавали кукурудзяне борошно тонкого помелу ТМ "Сквирянка" і піддавали зброджуванню. Під час початку процесу бродіння додавали ще кукурудзяне борошно, формували кульки і висушували в тіні. Зберігали сухі зразки у мішку з натуральної тканини у сухому місці.

Готували тісто безопарним способом, а також на рідкій та густій опарі з попередньою активацією сухих "винних" дріжджів в 2-х варіантах: в суміші з борошна і води; в оцукреній заварці.

В дослідженнях використовували оцукрену пшеничну заварку зі співвідношенням компонентів: борошно пшеничне першого та вищого гатунку : вода, як 1:4. Заварювання борошна здійснювали водою з температурою 85 °С. Для оцукрювання заварки вносили неферментований ячмінний солод в кількості 2 % до маси борошна в заварці при температурі 63-65 °С. Тривалість оцукрення заварки складала 2 год.

Рідкі "винні" дріжджі готували з сухих "винних" дріжджів проводячи стадію активації, розвідного циклу та ведення з щоденним поповненням їх поживною сумішшю з борошна і води вологістю 89-90 % протягом 15 діб.

Тісто готували безопарним способом та на рідкій (W=68-72 %) і густій (W=48-50 %) опарі. При замісі тіста (W=44-45 %) додавали сольовий та цукровий розчини, в кількості у перерахунку на суху сировину відповідно 1,3 і 3,0 % до маси борошна. Розробку тіста, вистійку заготовок і випікання хліба проводили згідно технологічних інструкцій для виробів з пшеничного борошна.

Показники якості напівфабрикатів визначали за органолептичними показниками та вологістю. Масову частку вологи напівфабрикатів визначали експрес висушуванням на приладі Чижова ПЧМЦ. Ступінь дозрівання та готовність рідких "винних" дріжджів, напівфабрикатів на їх основі встановлювали за підйомною силою, що визначали за спливанням кульки тіста та титрованою кислотністю, яку визначали титруванням наважки за методикою (Drobot V., 2015).

Показники якості хліба визначали через 4...24 год після випікання. Оцінювання органолептичних показників якості виробів проводили згідно ДСТУ 7044:2009. Масову частку вологи в хлібі визначали стандартним прискореним методом шляхом висушування в шафі СЕШ-2М, кислотність - арбітражним методом згідно ДСТУ 7045:2009. Об'єм хліба визначали за допомогою приладу ОХЛ; пористість м'якушки вимірювали на приладі Журавльова; формостійкість вимірювали на приладі ІФК (Drobot V., 2015). У статті використано авторську технологічну термінологію.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Для успішного впровадження винних дріжджів на хлібопекарних підприємствах необхідно вирішити низку питань на етапі приготування самих сухих "винних" дріжджів. Послідовність приготування та питання, пов'язані зі встановленням та систематизацією інформації про вплив сировини (сорт винограду, місце, кліматичні умови вирощування тощо), параметрів виробництва сухих "винних" дріжджів на формування технологічно цінних для хлібопечення властивостей наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Послідовність приготування сухих "винних дріжджів"

Стадія	Фотоілюстрація	Питання для вирішення
1. Приготування виноградного сусла, його бродіння		<ol style="list-style-type: none"> 1. Який сорт винограду доцільніший? 2. Визначення видового складу мікробіоти сусла. 3. Як місце вирощування впливає на мікробіоти сусла? 4. За якими показниками визначати готовність сусла до відбору піни? 5. Яка температура бродіння забезпечує формування заданих властивостей і коли відбирати піну?
2. Відбір піни, змішування з кукурудзяним борошном (висівками), ферментація		<ol style="list-style-type: none"> 1. Які параметри процесу є раціональними (вологість маси, температура, тривалість)?
3. Додавання кукурудзяного борошна (висівки), формування кульок, їх висушування		<ol style="list-style-type: none"> 1. Визначення параметрів висушування (відносна вологість повітря, температура в приміщенні, тривалість, кінцева вологість сухих "винних" дріжджів) 2. Які технологічні властивості сухих "винних" дріжджів, видовий склад мікрофлори? 3. Як змінюється їх якість під час зберігання протягом року?

Джерело: розроблено авторами.

На наступному етапі необхідно розробити технологію активації сухих "винних" дріжджів для адаптації до умов хлібопекарських напівфабрикатів, посилення здатності до зброджування цукрів борошняного середовища, визначити параметри технологічного процесу з урахуванням особливостей їх фізіології та технологічних властивостей.

Видовий склад спонтанно забродженого винного сусла досліджували в Італії, Франції, Іспанії, Болгарії, Грузії та багатьох інших країнах світу. Основні види *Saccharomyces*, які зустрічаються у виноградному суслі та їх відношення до складу поживного середовища, а саме цукрів, наведено в таблиці 2.

Отже, бродильна мікрофлора винного сусла здатна засвоювати мальтозу, глюкозу та сахарозу, що є важливим для організації бродіння хлібопекарських напівфабрикатів.

Враховуючи характеристики винного сусла, відношення його мікрофлори до джерел вуглеводистого харчування, умови промислового хлібопечення, досвід домашнього приготування хліба на винних дріжджах та результати досліджень канадських вчених (Gélinas & McKinnon, 2018), доцільно використовувати винні дріжджі у хлібопекарному виробництві з їх введенням в рідкі напівфабрикати.

На наш погляд, цікавою буде розробка рекомендацій по використанню винних дріжджів у хлібопекарському виробництві за схемою, яка аналогічна технології приготування рідких дріжджів з вологістю 85-90 %. Приготування рідкого напівфабрикату з винними дріжджами ("рідких винних дріжджів") проводили за схемою, яка включала такі етапи:

приготування оцукреної борошняної заварки;

активація винних дріжджів на оцукреній заварці з подальшим щоденним розведенням водно-борошняним поживним середовищем.

Таблиця 2. Основні види *Saccharomyces* виноградного сусла та їх відношення до складу поживного середовища

Види дріжджів	Цукри										Спирти		Органічні кислоти			
	глюкоза	галактоза	сахароза	рафіноза	лактоза	мальтоза	декстрини	інулін	ксилоза	арабіноза	етанол	гліцерин	оцтова	молочна	винна	лимонна
<i>S. vini</i>	+	+	+	1/3	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-
<i>S. cerevisiae</i>	+	+	+	1/3	-	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-
<i>S. uvarum</i>	+	+	+	+	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-
<i>S. carlsbergensis</i>	+	+	+	+	-	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	-
<i>S. chevalieri</i>	+	-	+	1/3	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-
<i>S. oviformis</i>	+	-	+	1/3	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-
<i>S. chodati</i>	+	+	-	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	-	-

Позначення: + засвоює; – не засвоює; при розщепленні рафінози на фруктозу і мелібіозу зброджують тільки фруктозу, тобто 1/3 частини рафінози.

Джерело: (Oprean et al., 2006).

Для порівняння готували "рідкі винні дріжджі" на водно-борошняній масі. За опитуванням цей спосіб був традиційним для деяких домогосподарств в Білгород-Дністровському районі.

Використовували для приготування поживного середовища борошно пшеничне 1-го гатунку, як більш повноцінне за складом. Але, оскільки на ринку України більше представлено пшеничне борошно вищого гатунку, то для порівняння готували зразки на його основі.

На цьому етапі використовували сухі "винні" дріжджі з червоного винограду.

У розвідному циклі визначали вологість поживного середовища після 1-го замішування та після поповнення поживною сумішшю, яке здійснювали кожні 24 години. Для контролювання процесу їх активації та дозрівання через кожні 6 годин першої доби. Далі щодоби оцінювали органолептичні показники; підйомну силу, яка показує швидкість накопичення CO₂ в результаті активності дріжджів (рис. 1), та титровану кислотність, що сумарно відображає вміст кислот й розчиненої вуглекислоти (рис. 2). Ознаками готовності "рідких винних дріжджів" для приготування тіста, тобто закінчення розвідного циклу / циклу активації, є збільшення їх об'єму, набуття характерного продуктам бродіння аромату, зростання кислотності і досягнення підйомної сили значень за 20-25 хв. Вологість напівфабрикатів після замісів складала 85...90 %, дозрівання проводили при температурі 27...29 °С, вміст сухих "винних" дріжджів - 7 % до маси борошна.

Аналізуючи графічну інтерпретацію отриманих даних встановлено, що зразки пшеничних спонтанних напівфабрикатів з винних дріжджів набувають необхідної бродильної здатності за 24 години, тобто за один цикл, за умови використання, як поживну суміш, оцукреної заварки з борошна 1-го гатунку, трохи повільніше з вищого гатунку. Виведення ж

"рідких винних дріжджів" на водно-борошняній суміші потребує 24-36 годин при використанні борошна першого гатунку та до 48 годин вищого. При цьому ведення "рідких винних дріжджів" протягом 15 діб не знижувало їх підйомної сили.

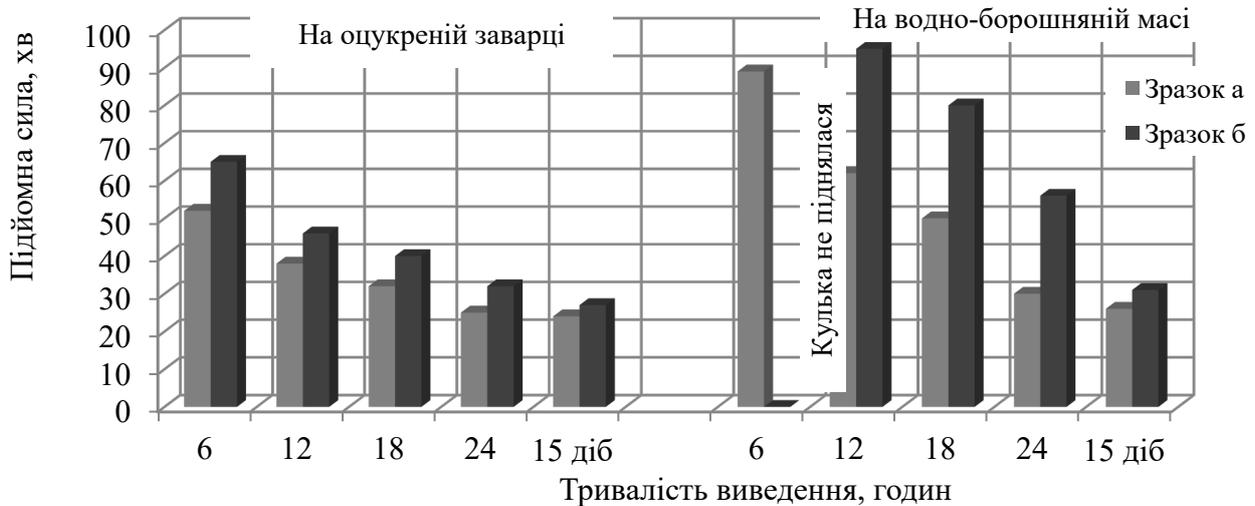


Рисунок 1. Зміна підйомної сили у процесі виведення рідких винних дріжджів та їх ведення протягом 15 діб з використанням пшеничного борошна: а – 1-го та б – вищого гатунку.
Джерело: розроблено автором.

За показником титрованої кислотності можна судити про активність молочнокислих бактерій. Так, зміни титрованої кислотності протягом першої доби виведення закваски (рис. 2) у зразках з борошна 1-го гатунку вказують на швидку активацію кислотоутворюючих бактерій, особливо у зразках на оцукреній заварці. Це підтверджує збагачення системи складовими ячмінного неферментованого солоду та утворення під час оцукрювання більш повноцінного вуглеводного складу, вмісту амінокислот, вітамінів тощо.

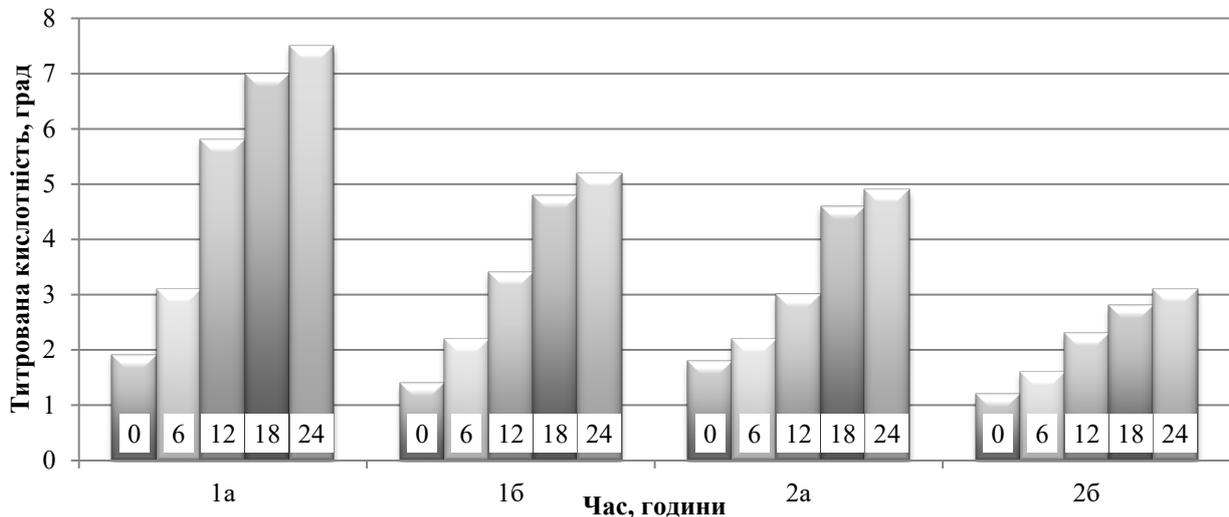


Рисунок 2. Динаміка кислотоноакопичення в процесі введення рідких "винних" дріжджів протягом перших 6, 12, 18 та 24 год з використанням в якості поживного середовища оцукреної заварки (1) та водно-борошняної суміші (2) на основі борошна 1-го (а) та вищого (б) гатунку.

Джерело: розроблено автором.

У зразку на суміші з борошна вищого гатунку та води зростання кислотності було сповільнене, що очевидно пов'язано зі збідненим на біологічно активні речовини хімічним складом борошна, а також його мікробіологічними характеристиками. Встановлено зростання аналізованого показнику протягом перших 6-8 діб ведення (рис. 3). При цьому зразки на основі

водно-борошняної суміші на 5-6 добу майже не відрізняються від зразків, для приготування яких використовувалася оцукрена заварка. З 6-ої доби процес сповільнюється і кислотність встановлюється в інтервалі 8,6...9,2 град для зразків з вмістом борошна 1-го гатунку та 6,8...7,5 град - вищого гатунку.

Молочнокисле бродіння є надзвичайно важливим у введенні спонтанних заквасок, рідких "винних" дріжджів. Технологічне значення молочної й інших кислот, сполук, що продукуються, полягає у зростанні кислотності, створенні умов для позитивних змін борошняних біополімерів, сприятливого середовища для розвитку дріжджів і пригнічення сторонньої мікрофлори – гнилісних бактерій, мікроорганізмів *Leuconostoc* лейконостоків та інші в т.ч. збудників мікробіологічного псування.

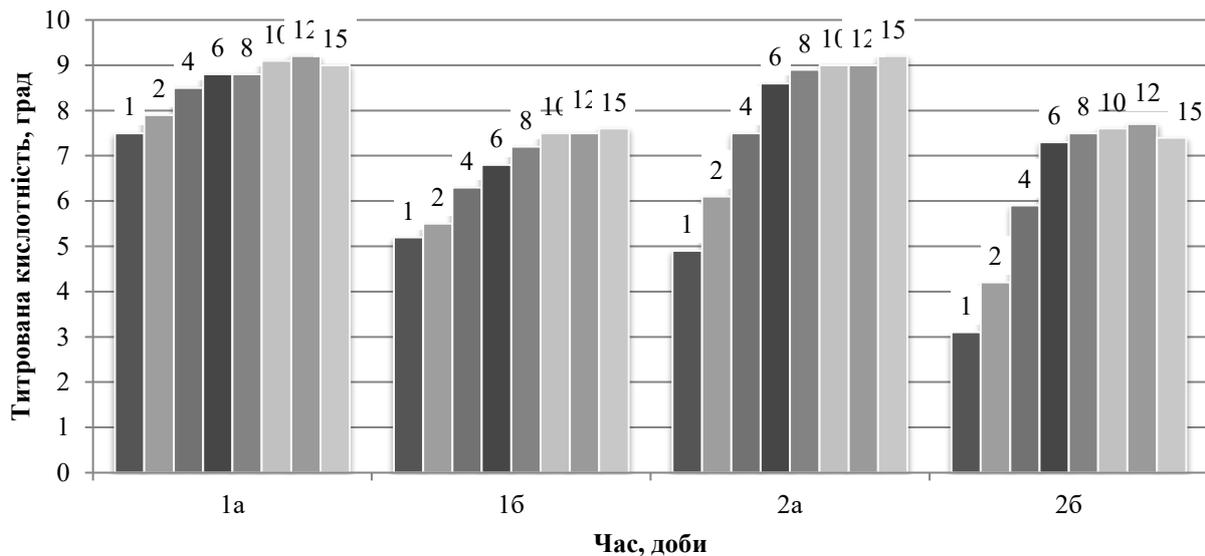


Рисунок 3. Зміна титрованої кислотності в процесі введення рідких "винних" дріжджів протягом перших 15 діб з використанням як поживного середовища водно-борошняної суміші на основі борошна 1-го (а) та вищого (б) гатунку для зразків на оцукреній заварці (1) та водно-борошняній суміші (2).

Джерело: розроблено автором.

Призначення стадії виведення пшеничних спонтанних рідких "винних" дріжджів / заквасок – це активація видів *Saccharomyces*, що внесені з сухими винними дріжджами, накопичення бродильної мікрофлори, у т.ч. молочнокислих бактерій, що забезпечить розпушення тіста, продукування органічних кислот, смакових, ароматичних та інших технологічно значимих сполук, це також перебіг фізико-хімічних, колоїдних, ферментативних перетворень складових борошна. При використанні оцукреної заварки як поживного середовища рідкі "винні" дріжджі набули необхідної бродильної здатності на кінець першої доби ферментації.

На наступному етапі вивчали властивості рідких "винних" дріжджів з білого та червоного винограду при їх внесенні в оцукрену заварку в кількості 5% і 7% до маси борошна 1-го гатунку. Оскільки умови зброджування виноградного суслу суттєво відрізняються від умов бродіння хлібопекарних напівфабрикатів, а також з урахуванням викликів воєнного часу, ризиків відключення електроенергії, важливим є дослідження впливу температури (19...22 і 25...27 °С) на формування хлібопекарних властивостей рідких "винних" дріжджів. Отримані результати наведено в табл. 3.

В дослідженні для порівняння і вибору більш раціонального способу приготування тіста застосовували безопарний спосіб (Б/О), на густій (ГО) та на рідкій (РО) опарі; контрольні зразки готували за традиційною для дріжджового хліба технологією.

Таблиця 3. Хлібопекарні властивості рідких "винних" дріжджів

Показники	Частка винних дріжджів до маси борошна							
	з білого винограду				з червоного винограду			
	5 %		7 %		5 %		7 %	
Варіант	1	2	3	4	5	6	7	8
Температура дозрівання, °С	19-22	25-27	19-22	25-27	19-22	25-27	19-22	25-27
Вологість, %	90	90	90	90	90	90	90	90
Титрована кислотність, град. (через 24 год)	6,0	7,1	6,6	7,8	5,8	6,4	6,9	7,5
Підйомна сила, хв. (через 24 год)	68	29	56	25	80	50	75	32

Джерело: розроблено автором.

Загально прийнято вважати, що готовність опари встановлюють за досягненням нормованої технологічними інструкціями кислотності та за органолептичними ознаками. З урахуванням отриманих даних обирали параметри технологічного процесу (табл. 4) і проводили дослідницьке випікання з порівняльною оцінкою якості напівфабрикатів та хліба. Для контрольного зразка при опарних технологіях вносили пресовані дріжджі в кількості 1 %, Б/О – 3 % до маси борошна.

Таблиця 4. Параметри ведення технологічного процесу виготовлення хліба та показники якості хліба

Показники	Контроль			З рідких "винних" дріжджів		
	РО	ГО	Б/О	РО	ГО	Б/О
Приготування опари						
Вологість, %	70	50	–	68	47	–
Тривалість дозрівання, хв	240	240	–	300	240	–
Підйомна сила, хв	24	21	–	18	21	–
Кислотність кінцева, град	5,0	3,5	–	5,5	5,9	–
Приготування тіста						
Вологість, %	44,0	44,2	43,6	44,1	43,8	43,5
Тривалість дозрівання, хв	60	60	180	90	90	240
Підйомна сила, хв	16	14	13	7	11	18
Кислотність кінцева, град	3,8	3,5	3,1	3,9	4,3	4,2
Якість готових виробів						
Вологість, %	43,2	43,3	42,9	43,0	42,8	42,7
Кислотність, град	2,9	2,7	2,2	3,0	3,2	3,1
Пористість, %	73	72	69	73	71	68
Питомий об'єм, см ³ /100 г	3,17	3,06	2,95	3,20	3,09	2,85
Формостійкість, Н/Д	0,58	0,56	0,56	0,50	0,49	0,47

Джерело: розроблено автором.

За результатами дослідницького випікання встановлено, що для зразків, виготовлених на опарах та Б/О способом з повною заміною пресованих дріжджів спонтанними рідкими "винними" дріжджами характерні приємний яскравий хлібний аромат з відтінками, специфічними для заквасок, більш забарвлена скоринка порівняно з контрольним зразком, світлий колір, достатній об'єм і розпушеність м'якушки (рис. 4, 5).

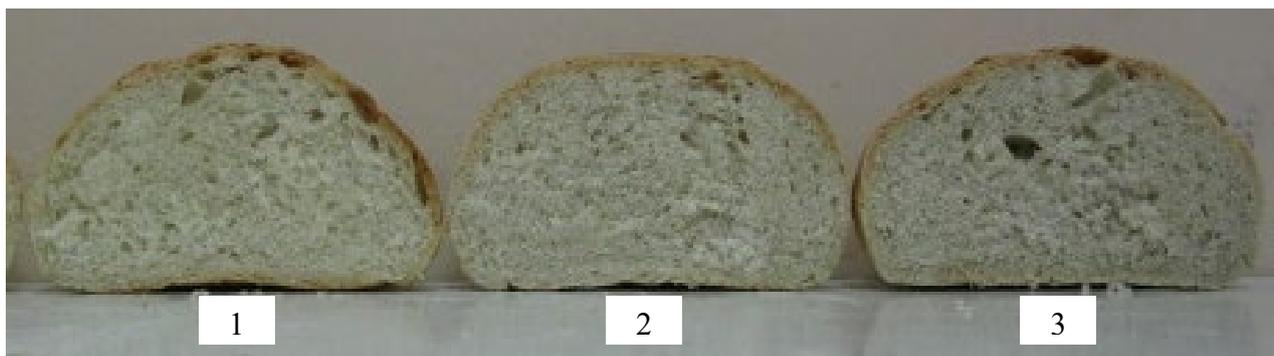


Рисунок 4. Хліб з пшеничного борошна, приготовлений з використанням пресованих дріжджів (контроль). 1 – РО; 2 – ГО; 3 – Б/О способом.

Джерело: розроблено автором.



Рисунок 5. Хліб з пшеничного борошна, приготовлений з використанням рідких "винних" дріжджів на: 1 – РО; 2 – ГО; 3 – Б/О способом.

Джерело: розроблено автором.

Кращими органолептичними та фізико-хімічними показниками характеризувались вироби, виготовлені на рідкій опарі з використанням рідких "винних" дріжджів. За пористістю, питомим об'ємом хліб на напівфабрикатах спонтанного бродіння не поступався контрольному зразку, виготовленому на традиційній рідкій опарі. Проте встановлено зростання титрованої кислотності виробів на 0,6...0,9 град, і вона дещо перевищує нормовані значення для традиційного хліба з пшеничного борошна вищого гатунку. Це має бути скореговано в технологічній документації на хлібну продукцію, виготовлену за досліджуваною технологією.

Отримання рідких напівфабрикатів спонтанного бродіння з заданими біотехнологічними властивостями є складним процесом, якість і тривалість якого визначаються хімічним складом, біохімічними та мікробіологічними характеристиками сировини, насамперед борошна, а також впливом додаткових інгредієнтів. Вид і гатунок борошна, його хлібопекарські властивості, початковий мікробіоценоз водно-борошняної системи та наявність сполук із селективними антисептичними властивостями істотно впливають на активність бродильної мікрофлори, ефективність технологічного процесу й формування якості хліба.

Суттєво впливають і параметри технологічного процесу - температура бродіння, застосування процесу заварювання борошна, оцукрювання заварки тощо.

При цьому хлібопекарські властивості сировини є нестабільними, рецептури та умови розвідного циклу та ведення рідких "винних" дріжджів / заквасок надзвичайно різноманітні, тому їх біотехнологічні властивості і, відповідно, якість продукції, можуть коливатися в широких межах. При організації приготування хліба з застосування спонтанного бродіння, виборі способу приготування тіста необхідні індивідуальний підхід з урахуванням їх рецептур

і постійне коректування параметрів технологічного процесу (температури і тривалості дозрівання, включення додаткових інгредієнтів тощо). Саме це, разом з відсутністю належної нормативно-технічної бази, і ускладнює використання спонтанного бродіння в умовах промислового хлібопечення, де в пріоритеті інтенсивність перебігу технологічного процесу та стабільність формування якості отриманих виробів. Але для міні-підприємств, крафтових пекарень такі технології можуть стати основною конкурентною перевагою у боротьбі за споживача.

Науковцями Інституту продовольчих ресурсів НААН (Mukhonik et al., 2023) розроблено асортимент хлібних виробів на заквасках, використовуючи спонтанне зброджування. Запропоновано цикли ведення заквасок спонтанного бродіння з нетрадиційним заквашувальним субстратом – борошном зеленої гречки, вівсяним та рисовим з подальшим моделюванням рецептур хлібних виробів різного асортименту: пшеничного, пшенично-житнього та безглютенового. В результаті розроблених схем уведення створено гречану, вівсяну та рисову закваску спонтанного бродіння та доведено ефективність їх використання в технології широкого асортименту хлібних виробів. Обґрунтовано доцільність використання гречаної та вівсяної закваски в рецептурах пшеничного та пшенично-житнього хліба, а рисової, гречаної закваски – в рецептурі безглютенового хліба. Методом пробних лабораторних випікань підібрано оптимальні дозування кожної закваски та описано особливості використання кожної з них, залежно від рецептури хліба. Встановлено, що додавання заквасок сприяє покращенню смако-ароматичних властивостей виробів та інтенсивнішому кислотонакопиченню в тісті.

В дослідженнях Sadeghi A. et al., (2025) значну увагу приділено застосуванню штамів, що не належать до *Saccharomyces*, як нових альтернатив хлібопекарським дріжджам у процесі хлібопекарського виробництва. Вони використовуються як текстуризатори, біоконсерванти та підсилювачі аромату в продукті; здатні виробляти багатофункціональні метаболіти, такі як ферменти, органічні кислоти та екзополісахариди, як ефективні розпушувачі та хлібопекарські біопокращувачі. Леткі сполуки, спирти та органічні кислоти, що виробляються дріжджами, також беруть участь у формуванні органолептичних властивостей та збільшенні терміну придатності продукту без утворення цвілі. Науковцями підтверджено деякий поживний та оздоровчий потенціал дріжджів, зокрема їх здатність до розкладання фітатів, антиоксидантна активність та здатність до збагачення вітамінами/амінокислотами. Ці перспективні можливості дозволяють впроваджувати дріжджові закваски як альтернативи хлібопекарським дріжджам, зосередженими на різних характеристиках виготовленого хліба, для розробки хлібобулочних виробів з екологічно чистим етикетуванням.

У дослідженні Хуану Хінг (2024) використано закваски спонтанного бродіння, отриманої з яблук, проаналізовано її мікробний склад та оптимізовано параметри технологічного процесу виробництва хліба. Рівні додавання закваски спонтанного бродіння (0–30%) та час розстоювання (60–180 хвилин) варіювали для оцінки впливу на якість хліба. Результати показали, що коротше розстоювання збільшувало питомий об'єм, який з часом стабілізувався, тоді як твердість зменшувалася. Аналогічно, нижчі відсотки закваски спонтанного бродіння, отриманої з яблук, збільшували об'єм, але вищі дози зменшували його. Нижчий відсоток закваски спонтанного бродіння, отриманої з яблук, покращував харчові властивості (вільні амінокислоти), смак (леткі сполуки). Результати демонструють нижчий потенціал закваски спонтанного бродіння, отриманої з яблук, для покращення якості хліба, пропонуючи природні альтернативи комерційним закваскам шляхом балансування параметрів бродіння для оптимізації текстури, об'єму, терміну придатності та сенсорних властивостей, підкреслюючи її роль у сталому виробництві ремісничого хліба.

Перспективними напрямками подальших досліджень є наукове обґрунтування умов формування рідких напівфабрикатів спонтанного бродіння з прогнозованими біотехнологічними властивостями з урахуванням хімічного складу сировини та впливу додаткових інгредієнтів. Проте необхідно продовження подальших досліджень з поєднанням зусиль фахівців різних спрямувань, націлених на з'ясування та формулювання теоретичних

основ технологій хліба на напівфабрикатах спонтанного бродіння, розробку і гармонізацію інформативної, нормативної бази, термінів і практичних рекомендацій для виробників хлібної продукції, які передбачатимуть адаптацію до місцевої сировини, поширених технологічних схем і обладнання в умовах міні-пекарень і крафтового виробництва.

ВИСНОВКИ. Отже, в результаті проведених досліджень встановлено ефективність використання сухих "винних" дріжджів та рідких напівфабрикатів спонтанного бродіння з їх використанням, як зразок давніх національних традицій хлібопечення. На основі отриманих результатів можна стверджувати, що досліджувані технології приготування хліба є надзвичайно перспективними; напівфабрикати, отримані в результаті спонтанного бродіння можна розглядати як засіб комплексного покращення якості хлібної продукції, розширення її асортименту.

Перспективними напрямками подальших досліджень є наукове обґрунтування умов формування рідких напівфабрикатів спонтанного бродіння з прогнозованими біотехнологічними властивостями з урахуванням хімічного складу сировини та впливу додаткових інгредієнтів. Проте необхідно продовження подальших досліджень з поєднанням зусиль фахівців різних спрямувань, націлених на з'ясування та формулювання теоретичних основ технологій хліба на напівфабрикатах спонтанного бродіння, розробку і гармонізацію інформативної, нормативної бази, термінів і практичних рекомендацій для виробників хлібної продукції, які передбачатимуть адаптацію до місцевої сировини, поширених технологічних схем і обладнання в умовах міні-пекарень і крафтового виробництва.

Подяки. Немає.

Конфлікт інтересів. Немає.

References

- Aghalari, Z., Dahms, H. U., & Sillanpää, M. (2022). Evaluation of nutrients in bread: a systematic review. *Journal of health, population, and nutrition*, 41(1), 50. <https://doi.org/10.1186/s41043-022-00329-3>
- Alkay, Z., Falah, F., Cankurt, H., & Dertli, E. (2024). Exploring the Nutritional Impact of Sourdough Fermentation: Its Mechanisms and Functional Potential. *Foods (Basel, Switzerland)*, 13(11), 1732. <https://doi.org/10.3390/foods13111732>
- Antonenko, A., Brovenko, T., Kryvoruchko, M., Tolok, H., Vasylenko, O., & Riadnyna, Yu. (2023). Technology of lavash using quinoa flour. *Scientific Bulletin of Tavria State Agrotechnological University*, 13(2), 178–188. <https://oj.tsatu.edu.ua/index.php/visnik/article/view/418>
- Ark of the taste of Ukraine. Food, knowledge and stories of gastronomic heritage (2022).. https://www.fondazioneSlowFood.com/wp-content/uploads/2022/10/ADG_UCRAINA_WEB_2.pdf
- Drobot V. I. (2015) Technochemical control of raw materials and bakery and pasta products: study guide. Condor.
- Gélinas, P., & McKinnon, C. (2018). Baking tests: Effect of sucrose and water on yeast gassing power. *Cereal chemistry*, 95(6), 822–828. <https://doi.org/10.1002/cche.10100>
- Haydarzhi V. (2023) In the village of Kubei, wine yeast is made according to the great-grandmother's recipe. <https://mahala.com.ua/aktualne/v-seli-kubey-vyhotovliaiut-vynni-drizhdzhi-za-prababusynym-retseptom-video/>
- Hernández-Figueroa, R.H., Mani-López, E., Palou, E., & López-Malo, A. (2023). Sourdoughs as Natural Enhancers of Bread Quality and Shelf Life: A Review. *Fermentation*. <https://doi.org/10.3390/fermentation10010007>
- Holubchuk, D., Khablenko, A., Dugan, O., Danylenko, S., & Korzhenivska, A. (2024). Probiotic microorganisms in bread sourdoughs. *Food Science and Technology*. Vol. 18, Is. 1. P. 15-38. <https://doi.org/10.15673/fst.v18i1.2848>

- Hryshchenko A.V. (2025) Study of trends in the development of the bakery industry of Ukraine. *Agrosvit*, No. 1. P. 77-89. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2025.1.77>
- Imre, A., & Crook, N. (2025). The emerging roles of non-Saccharomyces yeasts in fermented foods and human health. *FEMS yeast research*, 25, foaf056. <https://doi.org/10.1093/femsyr/foaf056>
- Islam, M. A., & Islam, S. (2024). Sourdough bread quality: Facts and factors. *Foods (Basel, Switzerland)*, 13(13), 2132. <https://doi.org/10.3390/foods13132132>
- Ivchenko V.M., Polonska O.M., Soloshok A.L. (2025) Modern realities of the bakery products market in Ukraine. *Economic space*, №204. C. 124-130. <https://doi.org/10.30838/EP.204.124-130>
- Lau, S. W., Chong, A. Q., Chin, N. L., Talib, R. A., & Basha, R. K. (2021). Sourdough Microbiome Comparison and Benefits. *Microorganisms*, 9(7), 1355. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9071355>
- Lebedenko T.E., Kozhevnikova V.O., Tkachuk O.V., Yevlash V.V. (2024). Production of flour products: importance and tasks in the food security of Ukrainians, problems and challenges of today and post-war transformation. *Scientific works of the National Technical University of Ukraine*. Volume 30, №5. c. 183-198 <https://nuft.edu.ua/doi/doc/swnuft/2024/5/16.pdf>
- Mititiuc, Cristian & Dabija, Adriana & Avramia, Ionut. (2025). Unconventional Yeast in the Bakery Industry: A Review. *Applied Sciences*. 15. 9732. <https://doi.org/10.3390/app15179732>
- Morgan H. (2015) Bakers and the Baking trade in the Roman Empire : Social and Political Responses from the Principate to Late Antiquity https://www.academia.edu/13319823/Bakers_and_the_Baking_Trade_in_the_Roman_Empire_Social_and_Political_Responses_from_the_Principate_to_Late_Antiquity
- Mykhonik, L., Hetman, I., & Naumenko, O. (2023). Efficiency of sourdoughs of spontaneous fermentation from cereal flour in bakery technologies. *Food resources*, 11(20), 28–34. <https://doi.org/10.31073/foodresources2023-20-03>
- Mykolenko S., Lebedenko T., Ziubrovskiy A. (2023) Traditional Ukrainian Bread Making // Traditional European Breads : An Illustrative Compendium of Ancestral Knowledge and Cultural Heritage / editors : M. Garcia-Vaquero, K. Pastor, Gul Ebru Orhun etc. Gewerbestrasse, Switzerland : Springer Nature. P. 389-418
- Naumenko, O. V., Hetman, I. A., Koroliuk, K. Ye., & Lukyanchuk, I. V. (2023). Peculiarities of the use of leavens of spontaneous fermentation in bread baking. *Food resources*, 11(21), 112–121. <https://doi.org/10.31073/foodresources2023-21-11>
- Oprean, L., Gaspar, E., Lengyel, E., & Cristea, V. (2006). Physiological properties of some yeast strains. *Acta Biologica Hungarica*, 57(2), 261–273. <https://doi.org/10.1556/abiol.57.2006.2.12>
- Sadeghi, A., Ebrahimi, M., Assadpour, E., & Jafari, S.M. (2025). Emerging techno-functional capabilities of non-Saccharomyces yeasts as starter cultures in bread-making; a promising approach to develop clean-label bakery products. *Future Foods*, 12. <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2025.100789>
- Semko, T., Paska, M., Ivanishcheva, O., Kryzhak, L., Pahomska, O., Ternova, A., Vasylyshyna, O., & Hyrych, S. (2024). Innovative approach to the production of craft bread: A combination of tradition and innovation. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 18, 792–806. <https://doi.org/10.5219/1964>
- Tvorun S., Shevchuk O. (2025) A different loaf for every Ukrainian festivity. Vinnytsia: "Konsol" LLC. 256 p.
- Tvorun S.O., Tsvigun T.O. (2019) Bread for holidays and for honor / Translated into English by L.G. Movchan Vinnytsia: LLC "Tvori", 2019. 300 p. Mesta-Corral, M., Gómez-García, R., Balagurusamy, N., Torres-León, C., & Hernández-Almanza, A. Y. (2024). Technological and Nutritional Aspects of Bread Production: An Overview of Current Status and Future Challenges. *Foods (Basel, Switzerland)*, 13(13), 2062. <https://doi.org/10.3390/foods13132062>
- Xuanyu Xing. (2024). Apple spontaneous fermentation sourdough: Microbial dynamics and optimization for enhanced bread quality. *Food Science & Applied Microbiology Reports*, 3(2), 96–107. <https://doi.org/10.61363/g5vcmm60>

Отримано 22.11.2025 р., прийнято до друку 10.02.2026 р.

УДК 613.2:577.161.2:614.4(477)

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.85>

ДЕФИЦИТ ВІТАМІНУ D В УКРАЇНІ: ВІД ЕПІДЕМІОЛОГІЇ ДО СТРАТЕГІЙ КОРЕКЦІЇ – АСПЕКТИ З ПОЗИЦІЇ ГРОМАДСЬКОГО ЗДОРОВ'Я ТА НУТРИЦІОЛОГІЇ

Андрій Васильович Ганущак

асистент кафедри громадського здоров'я та нутриціології

<https://orcid.org/0009-0009-0489-5562>

Національний університет біоресурсів та природокористування України

03041, Україна, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15

Костянтин В'ячеславович Балашов

доктор філософії (медицина), старший викладач кафедри громадського здоров'я та нутриціології

<https://orcid.org/0000-0002-7820-4527>

Національний університет біоресурсів та природокористування України

03041, Україна, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15

Олег Віталійович Швець

професор, кандидат медичних наук, завідувач кафедри громадського здоров'я та нутриціології

<https://orcid.org/0000-0002-1434-4344>

Національний університет біоресурсів та природокористування України

03041, Україна, м. Київ, вул. Героїв Оборони, 15

Анотація. Дослідження епідеміологічної ситуації щодо забезпеченості вітаміном D в Україні є критичним для розробки стратегій охорони здоров'я в умовах тривалого соціально-економічного стресу та війни. Оновлення даних про поширеність гіповітамінозу дозволяє адаптувати протоколи профілактики до сучасних потреб населення. Оцінити динаміку рівнів 25-гідроксивітаміну D серед населення України протягом 2016-2025 років, ідентифікувати ключові фактори ризику та обґрунтувати заходи мультидисциплінарної корекції. Виконано ретроспективний аналіз результатів лабораторних досліджень сироватки крові різних вікових груп. Застосовано методи системного огляду епідеміологічних даних та статистичний аналіз медіанних значень із урахуванням сезонних, регіональних та антропометричних чинників. Дефіцит вітаміну D встановлено у 19-26 відсотків дорослого населення, недостатність - у 27-37 відсотків. Медіанний рівень забезпеченості зріс із 23,8 нанограма на мілілітр у 2016 році до 34,7 нанограма на мілілітр у 2022 році, проте у 2023-2025 роках зафіксовано тенденцію до зниження показників. Виявлено виражену сезонну амплітуду: від 25,3 нанограма на мілілітр у березні до 36,5 нанограма на мілілітр у вересні. Найнижчі рівні характерні для жителів північних областей, осіб похилого віку та пацієнтів із надлишковою масою тіла. Окремо доведено, що для ветеранів з ампутаціями адекватне забезпечення вітаміном D є базовим фактором успішної реабілітації, оскільки він безпосередньо впливає на нейром'язову координацію та збереження кісткової маси кукси. Стійкий рівень гіповітамінозу в Україні зумовлений відсутністю державної програми фортифікації продуктів харчування. Обґрунтовано необхідність впровадження протоколів обов'язкової саплементації для груп ризику та ветеранів у період відновлення.

Ключові слова: саплементація, фортифікація, інсоляція, мікронутрієнти, гіповітаміноз, реабілітація.

UDC 613.2:577.161.2:614.4(477)

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.85>

VITAMIN D DEFICIENCY IN UKRAINE: FROM EPIDEMIOLOGY TO CORRECTION STRATEGIES - PUBLIC HEALTH AND NUTRITION ASPECTS.

Andriy Ganschak

MD, Assistant Professor, Department of Public Health and Nutrition

<https://orcid.org/0009-0009-0489-5562>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

03041, Ukraine, Kyiv, Heroiv Oborony St., 15

Kostyantyn Balashov

MD, PhD, Senior Lecturer, Department of Public Health and Nutrition

<https://orcid.org/0000-0002-7820-4527>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

03041, Ukraine, Kyiv, Heroiv Oborony St., 15

Oleg Shvets

Professor, MD, PhD, Head of Department of Public Health and Nutrition

<https://orcid.org/0000-0002-1434-4344>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

03041, Ukraine, Kyiv, Heroiv Oborony St., 15

Abstract. Researching the epidemiological situation regarding vitamin D status in Ukraine is critical for developing public health strategies amid prolonged socio-economic stress and war. Updating data on the prevalence of hypovitaminosis enables adaptation of prevention protocols to the contemporary needs of the population. To evaluate the dynamics of 25-hydroxyvitamin D levels among the population of Ukraine during the period of 2016-2025, identify key risk factors, and justify multidisciplinary correction measures. A retrospective analysis of blood serum laboratory test results across various age groups was performed. Methods of systematic review of epidemiological data and statistical analysis of median values were applied, considering seasonal, regional, and anthropometric factors. Vitamin D deficiency was identified in 19 to 26 percent of the adult population, and insufficiency in 27 to 37 percent. The median sufficiency level increased from 23.8 nanograms per milliliter in 2016 to 34.7 nanograms per milliliter in 2022; however, a downward trend in these indicators has been observed in the last three years (2023-2025). A pronounced seasonal amplitude was identified: from 25.3 nanograms per milliliter in March to 36.5 nanograms per milliliter in September. The lowest levels are characteristic of residents of northern regions, elderly individuals, and patients with excess body weight. It was specifically shown that, for veterans with amputations, adequate vitamin D status is a fundamental factor for successful rehabilitation, as it directly affects neuromuscular coordination and the preservation of bone mass in the residual limb. The persistent level of hypovitaminosis in Ukraine is caused by the absence of a state food fortification program. The necessity of implementing mandatory supplementation protocols for risk groups and veterans during the recovery period is justified.

Keywords: supplementation, fortification, insolation, micronutrients, hypovitaminosis, rehabilitation.

ВСТУП. В умовах сучасних глобальних викликів та тривалої системної кризи в охороні здоров'я України, нутриціологія набуває статусу стратегічної дисципліни. Вона здатна безпосередньо впливати на показники захворюваності, рівень інвалідизації та якість життя населення через науково обґрунтовану корекцію аліментарних чинників. У структурі мікронутрієнтного забезпечення особливе місце посідає вітамін D, роль якого за останнє десятиліття була фундаментально переосмислена. Довгий час вплив цього нутрієнта

розглядався виключно через призму регуляції кальцієво-фосфорного обміну та профілактики рахіту чи остеомалачії. Однак ідентифікація специфічних рецепторів до вітаміну D практично у всіх тканинах організму - від імунокomпетентних клітин та ендотелію судин до клітин підшлункової залози та головного мозку - зумовила зміну наукової парадигми.

Сьогодні вітамін D класифікується як потужний секостероїдний прогормон із системною плейотропною дією. Актуальність вивчення його статусу в Україні зумовлена поєднанням несприятливого географічного розташування (недостатня інсоляція в осінньо-зимовий період на широтах вище тридцять п'ятої паралелі) із сучасними соціальними викликами: хронічним стресом, зміною структури харчування та обмеженням перебування на відкритому повітрі. Останні дані за 2025 рік вказують на те, що поширеність дефіциту та недостатності серед українців продовжує зростати, досягаючи критичних позначок у найбільш вразливих групах населення.

Наукова новизна роботи полягає у проведенні першого системного аналізу динаміки забезпеченості населення вітаміном D у критичний період 2022-2025 років, що охоплює етапи адаптації суспільства до умов повномасштабної війни. Вперше обґрунтовано взаємозв'язок між статусом вітаміну D та ефективністю фізичної і ментальної реабілітації ветеранів із травматичними ампутаціями, що дозволяє інтегрувати нутритивну підтримку в загальнодержавні протоколи відновлення здоров'я.

МЕТА РОБОТИ є оцінка багаторічної динаміки рівнів 25-гідроксिवітаміну D серед населення України, ідентифікація новітніх факторів ризику, що виникли внаслідок соціально-економічної кризи, та розробка мультидисциплінарної стратегії подолання гіповітамінозу через механізми фортифікації та раціональної саплементації.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. Сучасні генетичні та молекулярно-біологічні дослідження дозволили оцінити реальний масштаб впливу вітаміну D на фізіологію людини. Використання методів секвенування нового покоління (ChIP-seq) продемонструвало, що рецептор вітаміну D (VDR) є ліганд-залежним фактором транскрипції, який зв'язується з тисячами ділянок у геномі людини (Pike & Meyer, 2020).

Згідно з останніми даними, вітамін D прямо чи опосередковано модулює експресію близько 3-5% геному людини, що охоплює від 900 до 1200 генів (Carlberg & Velleuer, 2022). Ця регуляція стосується критично важливих процесів: проліферації та диференціації клітин, апоптозу, ангіогенезу та метаболічної гомеостазу. Зокрема, встановлено фундаментальну роль вітаміну D у функціонуванні як вродженої, так і адаптивної імунної відповіді (Bouillon et al., 2019).

Фундаментальна роль вітаміну D у регуляції імунної відповіді реалізується через його прямий вплив на клітини як вродженого, так і адаптивного імунітету. Рецептор вітаміну D (VDR) експресується практично всіма імунокomпетентними клітинами, включаючи моноцити, макрофаги, дендритні клітини, а також Т- та В-лімфоцити.

Згідно з дослідженнями Cutolo et al. (2023), кальцитріол активує синтез антимікробних пептидів, таких як кателіцидин та дефензини, що є першою лінією захисту від бактеріальних та вірусних агентів. Водночас у системі адаптивного імунітету вітамін D сприяє перемиканню імунної відповіді з прозапального фенотипу Th1 на протизапальний Th2, що критично важливо для запобігання розвитку аутоімунних процесів та цитокінового шторму. Цей механізм став особливо актуальним під час пандемії COVID-19, де низький статус вітаміну D корелював із тяжким перебігом респіраторного дистрес-синдрому. Таким чином, підтримка оптимального рівня 25-гідроксивітаміну D є не лише питанням здоров'я кісток, а й базовою умовою імунологічної резистентності популяції в умовах епідеміологічних загроз.

Клінічні дослідження останніх п'яти років підтверджують асоціацію дефіциту вітаміну D із широким спектром патологій. Окрім класичних порушень скелетної системи, низькі рівні 25-гідроксивітаміну D корелюють із підвищеним ризиком розвитку метаболічного синдрому,

цукрового діабету 2-го типу та серцево-судинних катастроф (Barbarawi et al., 2019). Особливу увагу вчених привернув вплив вітаміну D на ментальне здоров'я, зокрема його здатність модулювати нейротрофічні фактори, що є критичним при депресивних розладах (Wang et al., 2024).

В українському науковому просторі акцент досліджень змістився на вивчення забезпеченості вітаміном D в умовах екстремального стресу та фізичної реабілітації. Встановлено, що серед осіб віком 20-29 років поширеність дефіциту є особливо високою, а у чоловіків показники недостатності можуть сягати 67,2% (Grygorieva, 2025). Новим вектором досліджень стало вивчення нутритивного статусу пацієнтів із травматичними ампутаціями, де дефіцит вітаміну D виступає незалежним фактором ризику сповільнення реабілітації та зниження мінеральної щільності кісткової тканини кукси (Grygorieva et al., 2025). Таким чином, сучасний стан світової та вітчизняної науки вказує на необхідність переходу від загальних рекомендацій до персоналізованих стратегій саплементації та фортифікації продуктів харчування.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Для реалізації мети дослідження та забезпечення репрезентативності отриманих результатів було застосовано комплексний методологічний підхід, що включає ретроспективний аналіз масивів лабораторних даних та системний огляд наукової літератури.

Дизайн дослідження та формування вибірки. Об'єктом аналізу стали результати деперсоніфікованих лабораторних обстежень дорослого населення України (чоловіків та жінок віком від 18 до 95 років), проведених у період з січня 2016 року по січень 2025 року. Стратегія формування вибірки базувалася на принципі випадкового відбору результатів первинних тестувань сироватки крові на вміст 25-гідроксिवітаміну D. Для забезпечення валідності динамічного аналізу дані були розподілені на три часові когорти: допандемічний період (2016-2019), період пандемії коронавірусної хвороби (2020-2022) та воєнний період (2023-2025).

Лабораторні методи дослідження. Основним маркером забезпеченості організму вітаміном D слугувала концентрація 25-гідроксिवітаміну D у сироватці крові. Визначення показників проводилося верифікованими методами електрохемілюмінесцентного аналізу (ECLIA) на автоматичних аналізаторах, що забезпечує високу точність та відтворюваність результатів. Інтерпретація рівнів забезпеченості здійснювалася згідно з міжнародними стандартами та положеннями Українського консенсусу (2024):

- Дефіцит: рівень менше 20 нанограмів на мілілітр.
- Недостатність: від 20 до 25 нанограмів на мілілітр.
- Оптимальний рівень: від 30 до 50 нанограмів на мілілітр.

Статистична обробка даних. Математичний аналіз результатів виконувався з використанням методів варіаційної статистики. Для опису кількісних показників розраховувалися медіана та міжквартильний розмах, що є найбільш об'єктивним для оцінки нутритивного статусу великих популяцій. Порівняння незалежних груп проводилося за допомогою непараметричного критерію Манна-Вітні, а аналіз сезонної та багаторічної динаміки - з використанням кореляційного аналізу за Спірменом. Статистично значущими вважалися результати при рівні ймовірності помилки менше 5 відсотків ($p < 0,05$).

Етичні аспекти. Дослідження було проведено з дотриманням основних положень Гельсінської декларації Всесвітньої медичної асоціації про етичні принципи проведення медичних досліджень за участю людини. Використовувалися виключно анонімізовані статистичні звіти, що виключає можливість ідентифікації конкретних пацієнтів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Аналіз епідеміологічних показників у глобальному контексті. Отримані нами дані щодо поширеності гіповітамінозу D в Україні відображають загальносвітову пандемію дефіциту цього мікронутрієнта, про яку

звітує Майкл Голік (Michael Holick). За його оцінками, понад 1 мільярд людей мають низький рівень 25-гідроксिवітаміну D. Наші результати, що фіксують дефіцит у 19-26 відсотків дорослого населення, на перший погляд здаються оптимістичнішими порівняно з деякими країнами Близького Сходу або Південної Азії, де показники можуть перевищувати 70-80 відсотків. Однак, порівнюючи Україну з країнами Європейського Союзу, ми бачимо чіткі паралелі. Наприклад, Кевін Кешмен (Kevin Cashman) у масштабному аналізі європейських популяцій вказує на середню поширеність дефіциту на рівні 13 відсотків при використанні жорстких критеріїв, проте зазначає, що в країнах Центральної та Східної Європи цей показник значно вищий.

Наші дані щодо медіанного рівня 25-гідроксивітаміну D у 31,0 нанограма на мілілітр є зіставними з результатами Павла Плудовського (Pawel Pludowski), отриманими в Польщі. Це пояснюється подібністю географічної широти та раціону харчування. Плудовський наголошує, що досягнення цільового рівня у 30-50 нанограмів на мілілітр є необхідним для реалізації позаскелетних ефектів вітаміну, чого в нашому дослідженні не досягла майже половина респондентів (46,8 відсотка сумарно для груп дефіциту та недостатності).

Сезонність та географічні чинники. Виявлена нами сезонна амплітуда (мінімум у березні - 25,3 нанограма на мілілітр, максимум у вересні - 36,5 нанограма на мілілітр) повністю узгоджується з механізмами, описаними Роже Буйоном (Roger Bouillon). Він довів, що на широтах вище 35-ї паралелі синтез вітаміну D у шкірі практично припиняється в зимові місяці через недостатній кут падіння сонячних променів. Україна, розташована між 44-ю та 52-ю градусами північної широти, є класичним прикладом регіону з тривалим "вітамінним голодуванням". Подібні результати описує Пол Ліпс (Paul Lips) у дослідженнях мешканців Північної Європи, де без додаткової саплементації рівень вітаміну D у крові падає нижче критичних значень вже до середини січня. Наша "березнева яма" підтверджує, що літне депонування вітаміну в жировій тканині не здатне забезпечити фізіологічні потреби організму протягом усієї зими.

Метаболічні аспекти та ожиріння. Особливої уваги заслуговує кореляція між масою тіла та статусом вітаміну D. Наші дані щодо нижчих рівнів у підлітків із ожирінням (14,7 нанограма на мілілітр) підтверджують теорію секвестрації, висунуту Вортсман (Wortsman). Вітамін D, будучи жиророзчинним, "захоплюється" адипоцитами, що знижує його біодоступність для системного кровотоку. Це системне порівняння з роботами Чень (Chen et al., 2024) дозволяє стверджувати, що для українських пацієнтів із метаболічним синдромом стандартні дози саплементації будуть неефективними. Як зазначає Чень, у пацієнтів із цукровим діабетом 2-го типу корекція дефіциту вітаміну D призводить до статистично значущого зниження рівня глікованого гемоглобіну, що робить нутритивну підтримку важливою частиною ендокринологічної практики в Україні.

Військовий аспект та реабілітація. Особливою новизною нашої роботи є аналіз забезпеченості вітаміном D ветеранів із ампутаціями. Понад 80 відсотків осіб у цій групі мають дефіцит, що є критичним фактором ризику. Порівнюючи наші висновки з роботами Скробота (Skrobot et al., 2020), ми бачимо, що дефіцит вітаміну D безпосередньо корелює з погіршенням постуральної стабільності та нейром'язової координації. Скробот довів на польській вибірці пацієнтів після ортопедичних операцій, що саплементация вітаміном D3 значно прискорює відновлення функцій балансу. У контексті української реальності, де кількість ампутацій наближається до 100 тисяч, це питання набуває стратегічного значення для системи реабілітації. Наші тези також перегукуються з роботою Аспелл (Aspell et al., 2019), яка продемонструвала, що низький статус вітаміну D є незалежним предиктором м'язової слабкості та підвищеного ризику падінь у дорослих.

Психоемоційний стан в умовах війни. Зв'язок між вітаміном D та ментальним здоров'ям, особливо актуальний для України, підтверджується мета-аналізом Ванга (Wang et al., 2024). Ванг вказує, що вітамін D діє як нейростероїд, і його нестача підвищує ризик депресивних розладів. У ситуації хронічного воєнного стресу, низький рівень вітаміну D може

виступати як обтяжуючий фактор для розвитку посттравматичного стресового розладу (ПТСР). Це корелює з рекомендаціями ВООЗ (World Health Organization, 2025) щодо необхідності всебічної нутритивної підтримки постраждалого населення.

Стратегії корекції: міжнародний досвід. Обговорюючи шляхи подолання дефіциту, ми звертаємося до досвіду країн, що впровадили програми фортифікації. Як зазначає Білезікян (Bilezikian et al., 2021), обов'язкове збагачення продуктів (як у Канаді чи Фінляндії) є значно ефективнішим за добровільну саплементацію. У Фінляндії після запровадження фортифікації молока та спредів середній рівень вітаміну D у населення зріс на 20 нанограмів на мілілітр за десять років. В Україні, як наголошує професор Олег Швець, відсутність таких програм залишає населення в зоні ризику. Результати дослідження Відаля (Vidal, 2025) підкреслюють, що навіть у країнах із вищим рівнем інсоляції, таких як Іспанія, відсутність системного контролю за харчуванням призводить до високої поширеності ревматичних захворювань, асоційованих із гіповітамінозом.

Таким чином, отримані нами результати не лише підтверджують глобальні закономірності, описані Голіком, Буйоном та Плудовським, а й висвітлюють специфічні українські виклики: негативну динаміку 2024-2025 років та критичний стан забезпеченості ветеранів. Системне порівняння з міжнародними даними доводить, що без переходу від індивідуальної саплементації до державної політики фортифікації, Україна залишатиметься в стані перманентного дефіциту вітаміну D з усіма відповідними наслідками для громадського здоров'я.

Загальна статистика та динаміка забезпеченості. Аналіз результатів продемонстрував, що середній рівень 25-гідроксिवітаміну D у загальній вибірці склав 31,0 нанограм на мілілітр. При цьому глибокий дефіцит (менше 20 нанограм на мілілітр) був встановлений у 19,5 відсотків обстежених, недостатність (20-29 нанограм на мілілітр) - у 27,3 відсотка, оптимальний рівень (30-50 нанограм на мілілітр) - у 41,6 відсотка, а високий рівень (понад 50 нанограм на мілілітр) - лише в 11,6 відсотка учасників.

Особливе наукове значення має виявлена динаміка показників протягом останнього десятиліття. Було зафіксовано статистично значуще зростання середньорічних рівнів забезпеченості: якщо у 2016 році медіана становила 23,8 нанограм на мілілітр, то до 2022 року вона досягла 34,7 нанограм на мілілітр (Grygorieva et al., 2023). Цей феномен пояснюється зростанням обізнаності населення в період пандемії коронавірусної хвороби та масовим включенням саплементації до профілактичних протоколів. Проте новітні дані 2024-2025 років знову вказують на негативну тенденцію зростання поширеності дефіциту (Grygorieva, 2025).

Гендерно-вікові особливості та вплив супутніх чинників. Результати досліджень демонструють складну структуру залежності статусу вітаміну від віку та статі. Зокрема, чоловіки мали вищі показники забезпеченості у молодих вікових групах (20-29 та 40-49 років), тоді як у старшому віці ці відмінності згладжувалися. Найнижчі показники зафіксовано у когорті довгожителів (80-99 років) - 28,1 нанограм на мілілітр. Таке зниження зумовлене віковою деградацією синтетичної здатності шкіри (зменшенням вмісту 7-дегідрохолестеролу), обмеженою інсоляцією та незбалансованим харчуванням.

Важливим аспектом є зв'язок між масою тіла та рівнем вітаміну D. У дослідженнях українських підлітків було встановлено, що медіанна концентрація 25-гідроксивітаміну D у осіб із надмірною вагою (12,7 нанограм на мілілітр) та ожирінням (14,7 нанограм на мілілітр) була достовірно нижчою порівняно з однолітками з нормальною масою тіла (17,9 нанограм на мілілітр) (Shulhai et al., 2022). Це підтверджує теорію секвестрації (депонування) вітаміну D у жировій тканині, що робить його менш доступним для системного кровотоку.

Статус вітаміну D в умовах медичної реабілітації. Сучасним викликом для системи охорони здоров'я України є нутритивна підтримка військовослужбовців. Дослідження пацієнтів після ампутації нижніх кінцівок показало, що понад 80 відсотків обстежених мають низькі концентрації вітаміну D (Grygorieva et al., 2025). Дефіцит мікронутрієнта в цій групі

асоціюється зі стрімким зниженням мінеральної щільності кісткової тканини на боці травми, що підвищує ризики переломів кукси та погіршує прогноз фізичної реабілітації.

В умовах тривалого військового конфлікту в Україні питання ментального здоров'я ветеранів та цивільного населення набувають пріоритетного значення. Вітамін D виконує роль нейростероїда, впливаючи на ділянки мозку, відповідальні за регуляцію настрою та емоційного стану.

Останні дані Wang et al. (2024) свідчать, що дефіцит вітаміну D асоціюється з підвищеним ризиком розвитку великого депресивного розладу та тривожних станів. Для пацієнтів, які перенесли ампутацію кінцівок, цей аспект є критичним. Поєднання фізичної травми із дефіцитом прогормону може значно сповільнювати процес психосоціальної адаптації. Саплементція вітаміну D у складі комплексної терапії сприяє нейропластичності та покращує когнітивні функції, що є необхідним фундаментом для успішного проходження програм ментальної реабілітації, рекомендованих ВООЗ у звіті "Three years of war" (World Health Organization, 2025).

Для розуміння проблематики дефіциту необхідно чітко окреслити шляхи надходження та метаболізму вітаміну. Унікальність вітаміну D полягає в дуалізмі його походження:

1. **Ендогенний шлях:** Синтез у шкірі з 7-дегідрохолестеролу під впливом ультрафіолетового випромінювання спектра В (довжина хвилі 290-315 нанометрів). Це основне джерело, яке забезпечує до 80-90 відсотків потреби за умов достатньої інсоляції.

2. **Екзогенний шлях:** Надходження з їжею (ергокальциферол D2 з рослинних джерел та холекальциферол D3 з тваринних), або у складі збагачених (фортифікованих) харчових продуктів чи дієтичних добавок.

Обидві форми є біологічно інертними. Для набуття активності вони проходять двоетапне гідроксилювання. Перший етап відбувається в гепатоцитах за участю ферменту 25-гідроксилази (CYP2R1), внаслідок чого утворюється кальцидіол (25-гідроксивітамін D). Ця сполука є основним маркером рівня вітаміну D в організмі завдяки тривалому періоду напіввиведення (2-3 тижні). Другий етап проходить у нирках (а також локально в багатьох тканинах) за участю 1-альфа-гідроксилази (CYP27B1), внаслідок чого утворюється активний гормон - кальцитріол (1,25-дигідроксивітамін D) (Holick, 2007; Bilezikian et al., 2021).

Кальцитріол взаємодіє з внутрішньоклітинним рецептором VDR, утворюючи гетеродимер з рецептором ретиноїду X (RXR). Цей комплекс зв'язується зі специфічними ділянками ДНК (VDRE), запускаючи або пригнічуючи транскрипцію генів. Саме цей механізм лежить в основі впливу на клітинний цикл, апоптоз, диференціацію клітин та імунну модуляцію (Bouillon et al., 2008).

Сезонні коливання. Географічне розташування України (між 44° і 52° північної широти) зумовлює виражену сезонність синтезу вітаміну D. З листопада по березень кут падіння сонячних променів є недостатнім для ефективного синтезу холекальциферолу в шкірі. Дані досліджень підтверджують наявність так званої "зимової ями". Найнижчі рівні 25-гідроксивітаміну D фіксувалися у березні (медіана 25,3 нанограма на мілілітр), що відображає виснаження запасів після зими. Найвищі показники спостерігалися у вересні (36,5 нанограма на мілілітр), що є результатом літньої інсоляції (Grygorieva et al., 2023).

Проблема харчового забезпечення вітаміну D

Складність забезпечення потреби у нутрієнтах виключно за рахунок збалансованого харчування була задекларована у Директиві Європарламенту № 2002/46/ЕС від 10 червня 2002 (*Directive 2002/46/EC of the European Parliament and of the Council of 10 June 2002 on the Approximation of the Laws of the Member States Relating to Food Supplements*, n.d.).

Природні джерела вітаміну D (холекальциферолу) достатньо обмежені. До них належать жирна морська риба (дикий лосось, оселедець, сардини); риб'ячий жир (печінка тріски); ячний жовток (вміст залежить від кормів для птиці та інсоляції); деякі гриби (лісові або спеціально вирощені під опроміненням УФ) (Zhao et al., 2023).

Досягнення необхідного рівня споживання лише через дієту є проблематичним. Наприклад, 100 грамів дикого лосося можуть містити 600-1000 міжнародних одиниць вітаміну D, тоді як фермерський лосось містить значно менше - 100-250 міжнародних одиниць (Carlberg, 2022).

З огляду на те, що середньостатистичний українець споживає рибу нерегулярно (значно менше рекомендованих двох порцій на тиждень), а споживання яєць часто обмежується через міфи про холестерин, розраховувати на аліментарну корекцію без фортифікації чи саплементачії - неможливо. Крім того, засвоєння вітаміну D є жирозалежним, тому поширення знежирених дієт додатково погіршує ситуацію (Grygorieva et al., 2024; Shvets, 2024).

Сучасні епідеміологічні дані вказують на пряму кореляцію між гіповітамінозом D та розвитком інсулінорезистентності. Мета-аналіз Chen et al. (2024) продемонстрував, що адекватна саплементачія вітаміну D сприяє покращенню функції бета-клітин підшлункової залози та зниженню рівня глікованого гемоглобіну у пацієнтів із цукровим діабетом 2-го типу.

Для української популяції це має особливе значення, оскільки висока поширеність надлишкової маси тіла та ожиріння, особливо серед міських жителів, створює умови для секвестрації вітаміну D у жировій тканині. Це призводить до зниження його біодоступності, що, у свою чергу, запускає каскад метаболічних порушень. Врахування статусу вітаміну D у протоколах ведення пацієнтів із метаболічним синдромом дозволяє не лише покращити глікемічний контроль, а й знизити ризик серцево-судинних ускладнень, що узгоджується з висновками Barbarawi et al. (2019) щодо важливості нутрієнтної підтримки для превентивної кардіології.

Важливість у подоланні медичних наслідків російсько-української війни

Наприкінці 2024 р. кількість осіб в Україні, яким була проведена ампутація кінцівки, оцінювалася в приблизно 100 тис. (Allen, 2024; *Three Years of War: Rising Demand for Mental Health Support, Trauma Care and Rehabilitation*, 2025). Висока поширеність дефіциту та недостатності вітаміну D серед пацієнтів, які перенесли ампутацію, може відігравати вагомий роль у порушенні ремоделювання кісткової тканини, підвищенні ризику остеопенії та остеопорозу, а також у зростанні ймовірності малотравматичних переломів у віддаленому періоді після ампутації (Grygorieva et al., 2025).

У зазначеній категорії пацієнтів збереження рівноваги значною мірою залежить від інтеграції зорових, вестибулярних і пропріоцептивних сигналів, а компенсаторні механізми працюють на межі функціональних можливостей, що робить їх особливо вразливими до факторів, що знижують постуральну стабільність. Дослідження продемонстрували ефективність саплементачії вітаміну D для удосконалення рівноваги та впливу на нейром'язову координацію (Skrobot et al., 2020). Корекція дефіциту вітаміну D покращує показники постуральної стабільності під час реабілітації та знижує ризик падінь в осіб із дефіцитом вітаміну D (наприклад, покращення параметрів рівноваги після додавання D3 в реабілітаційну програму). Пов'язані з дефіцитом вітаміну D підвищений ризик м'язової слабкості та ризик падінь (Aspell et al., 2019) може негативно впливати на процес адаптації до протеза та функціональні результати реабілітації.

Результати дослідження (Grygorieva et al., 2025) свідчать, що для мінімізації цих несприятливих наслідків (зокрема, виникнення остеопорозу або зменшення кісткової маси, пов'язаного з дефіцитом навантаження) необхідний комплексний підхід, що включає ранню мобілізацію, індивідуалізовані програми фізичних вправ, адекватну харчову підтримку з корекцією дефіциту вітаміну D та, за показаннями, фармакологічну терапію.

Шляхи подолання дефіциту: стратегія дії

Відповідно до сучасних досліджень (Pludowski et al., 2022) та положень Українського консенсусу щодо діагностики та лікування дефіциту вітаміну D у дорослих (2024), який був опублікований у провідному міжнародному журналі *Nutrients*, підхід до вирішення проблеми має бути тривірневим: масова профілактика (фортифікація), групова профілактика (саплементачія) та індивідуальне лікування (Grygorieva et al., 2024).

1. Фортифікація (збагачення продуктів)

Фортифікація продуктів масового вжитку є "золотим стандартом" нутритивних інтервенцій в громадському здоров'ї, оскільки вона не потребує активної зміни поведінки споживача.

Яскравим прикладом ефективності є досвід Канади. Згідно з Canada's Food and Drugs Act, коров'яче молоко в обов'язковому порядку збагачується вітаміном D3 у кількості 2,2-2,9 мікрограм (88-117 міжнародних одиниць) на 250 мілілітрів. Також дозволена фортифікація рослинних замінників молока, маргаринів та апельсинового соку.

В Україні ринок фортифікованих продуктів знаходиться на початковому етапі розвитку та становлення. Впровадження державних програм або добровільних ініціатив виробників щодо збагачення молочної продукції та олій могло б стати фундаментом для профілактики дефіциту на популяційному рівні.

2. Раціональна саплементція (дієтичні добавки)

Згідно з Консенсусом 2024, цільовим рівнем 25-гідроксिवітаміну D (або 25-гідроксиколекальциферолу) для здоров'я кісткової та позаскелетних систем є діапазон 30-50 нанограм на мілілітр (Grygorieva et al., 2024). Рутинний скринінг усього населення не рекомендується, як економічно недоцільний. Натомість тестування показане групам ризику:

- жінкам у період вагітності та лактації;
- людям з надлишковою вагою (ІМТ >30 кг/м²), оскільки жирова тканина накопичує вітамін D, що знижує його біодоступність;
- пацієнти з синдромом мальабсорбції, захворюваннями печінки та нирок;
- особам, що приймають ліки, які впливають на метаболізм вітаміну D (глюкокортикоїди та препарати протисудомної дії);
- особам старшого віку, що мають підвищений ризик падінь та переломів.

Для профілактики дефіциту здоровим дорослим (19-60 років) рекомендовано вживати 800-2000 міжнародних одиниць вітаміну D щодня. В осінньо-зимовий період ця рекомендація є обов'язковою для всіх мешканців України. Особам з груп ризику та людям старше 60 років рекомендований цілорічний прийом у дозах 1600-4000 міжнародних одиниць на добу.

Важливо наголосити, що лікування виявленого дефіциту потребує значно вищих доз (наприклад, 6000 міжнародних одиниць щодня протягом 8 тижнів) під контролем лікаря до досягнення цільового рівня, з подальшим переходом на підтримуючу дозу.

3. Освітня робота та модифікація способу життя

Важливим компонентом профілактики дефіциту вітаміну D є просвітницька діяльність. Йдеться, зокрема про привернення уваги до концепції розумної інсоляції: перебування на сонці у безпечні години (до 11:00 та після 16:00) без нанесення сонцезахисних кремів впродовж 15-20 хвилин, що може бути достатнім для синтезу добової дози 25-гідроксिवітаміну D в літній період. Рекомендації для населення повинні враховувати різницю в рівнях природничих знань серед груп населення, зокрема оскільки ультрафіолет типу В не проникає через скло та одяг наявні рекомендації повинні акцентувати увагу на необхідності перебування поза приміщенням та достатній площі вільної від одягу шкіри.

Обґрунтовано три стратегічні напрями профілактики: запровадження технологічної рамки фортифікації молочних продуктів та соків, впровадження схем раціональної саплементції в дозах від 800 до 2000 міжнародних одиниць на добу для дорослих та проведення освітніх заходів щодо безпечної інсоляції.

Аналіз світових практик подолання дефіциту мікронутрієнтів вказує на високу ефективність масової фортифікації продуктів харчування. Досвід країн Північної Європи та Північної Америки, узагальнений Vilezikian et al. (2021), показує, що обов'язкове збагачення молока, борошна та рослинних жирів дозволяє підтримувати адекватний рівень вітаміну D у населення навіть у періоди мінімальної інсоляції.

В Україні реалізація такої стратегії потребує тісної взаємодії між державними органами контролю якості харчових продуктів та представниками харчової індустрії. Запровадження

технологічної рамки фортифікації, адаптованої до українського споживчого кошика (молочна продукція, соняшникова олія), дозволило б нівелювати соціально-економічну нерівність у доступі до якісної саплементації. Це забезпечило б надходження стабільних доз вітаміну D для тих верств населення, які не мають можливості регулярно купувати дієтичні добавки або жирну морську рибу (Zhao et al., 2023). Така модель відповідає принципам громадського здоров'я та дозволяє знизити довгострокові витрати бюджету на лікування хронічних захворювань, асоційованих із гіповітамінозом.

Запропоновано модель співпраці між академічними установами та виробниками харчової продукції для адаптації кращих міжнародних практик збагачення продуктів до українських умов. Це дозволить не лише покращити загальний нутритивний статус нації, а й створити науково обґрунтовану базу для державної політики у сфері продовольчої безпеки та охорони здоров'я.

ВИСНОВКИ. Дефіцит та недостатність вітаміну D залишаються актуальною медико-соціальною проблемою в Україні, хоча в останні роки спостерігається позитивна динаміка: підвищення рівня 25-гідроксिवітаміну D у популяції та зростання середнього показника до 31,0 нанограм на мілілітр.

Ключовими факторами ризику гіповітамінозу D в Україні є географічна широта, що зумовлює сезонну нестачу інсоляції, та незбалансоване щоденне харчування із недостатнім споживанням жирної морської риби та фортифікованих продуктів.

Подолання дефіциту вітаміну D вимагає комплексного підходу: впровадження національних рекомендацій щодо профілактичної саплементації (800-2000 міжнародних одиниць на добу для здорових дорослих), розробки стратегії фортифікації продуктів харчування та підвищення рівня обізнаності населення.

Рутинне визначення концентрації 25-гідроксивітаміну D для загальної популяції дорослих не може бути рекомендоване через економічну недоцільність. Натомість тестування показане групам ризику, зокрема жінкам у період вагітності та лактації, людям з надлишковою вагою, пацієнтам з синдромом мальабсорбції, захворюваннями печінки та нирок, особам, що приймають ліки, які впливають на метаболізм вітаміну D, особам старшого віку, що мають підвищений ризик падінь та переломів.

Важливим компонентом профілактики є персоналізація підходів з врахуванням індивідуальних факторів ризику, та формування нової культури відповідального ставлення до свого здоров'я серед молоді.

Увага до належного забезпечення вітаміном D є важливим компонентом реабілітаційних програм у пацієнтів, що перенесли ампутацію кінцівки. Ліквідація дефіциту або недостатності вітаміну D є вагомим чинником не лише збереження кісткової маси, але й покращує показники рівноваги та нейром'язової координації.

Важливим напрямом подальших дій є формування стратегії фортифікації. Йдеться, зокрема, про визначення технологічної рамки збагачення продуктів (молока, йогуртів, соків) вітаміном D, яка може бути напрацьована у співпраці між академічними установами та виробниками харчових продуктів на підставі наукових рекомендацій, кращих міжнародних практик та адаптації до українських умов.

Подяки. Немає.

Конфлікт інтересів. Немає.

References

Allen, N. (2024). *Wounded by war, Ukrainians living with amputations find new purpose as prosthetists, advocates*. ReliefWeb. <https://reliefweb.int/report/ukraine/wounded-war-ukrainians-living-amputations-find-new-purpose-prosthetists-advocates>

Aspell, N., Laird, E., Healy, M., Lawlor, B., & O'Sullivan, M. (2019). Vitamin D deficiency is associated with impaired muscle strength and physical performance in community-dwelling older adults: Findings from the English longitudinal study of ageing. *Clinical Interventions in Aging, 14*, 1751–1761. <https://doi.org/10.2147/CIA.S222143>

Barbarawi, M., Kheiri, B., Zayed, Y., Barbarawi, O., Dhillon, H., Swaid, B., Yelangi, A., Sundus, S., Bachuwa, G., Alkotob, M. L., & Manson, J. E. (2019). Vitamin D supplementation and cardiovascular disease outcomes: A systematic review and meta-analysis of randomized clinical trials. *JAMA Cardiology, 4*(8), 765–776. <https://doi.org/10.1001/jamacardio.2019.1870>

Bilezikian, J. P., Formenti, A. M., Adler, R. A., Binkley, N., Bouillon, R., Lazaretti-Castro, M., Marcocci, C., Napoli, N., Rizzoli, R., & Giustina, A. (2021). Vitamin D: Dosing, levels, form, and route of administration: Does one approach fit all? *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders, 22*(4), 1201–1218. <https://doi.org/10.1007/s11154-021-09693-7>

Bouillon, R., Carmeliet, G., Verlinden, L., van Etten, E., Verstuyf, A., Luderer, H. F., Lieben, L., Mathieu, C., & Demay, M. (2008). Vitamin D and Human Health: Lessons from Vitamin D Receptor Null Mice. *Endocrine Reviews, 29*(6), 726–776. <https://doi.org/10.1210/er.2008-0004>

Bouillon, R., Marcocci, C., Carmeliet, G., et al. (2019). Skeletal and extraskeletal actions of vitamin D: Current evidence and methodological considerations. *Endocrine Reviews, 40*(4), 1109–1151. <https://doi.org/10.1210/er.2018-00126>

Carlberg, C., & Velleuer, E. (2022). Vitamin D and the risk for cancer: A molecular analysis. *Biochemical Pharmacology, 196*, 114735. <https://doi.org/10.1016/j.bcp.2021.114735>

Chen, W., Liu, L., & Hu, F. (2024). Efficacy of vitamin D supplementation on glycaemic control in type 2 diabetes: An updated systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Diabetes, Obesity and Metabolism, 26*(12), 5713–5726. <https://doi.org/10.1111/dom.15941>

Cutolo, M., Smith, V., Paolino, S., & Gotelli, E. (2023). Involvement of the secosteroid vitamin D in autoimmune rheumatic diseases and COVID-19. *Nature Reviews Rheumatology, 19*(5), 265–287. <https://doi.org/10.1038/s41584-023-00944-2>

Directive 2002/46/EC of the European Parliament and of the Council of 10 June 2002 on the approximation of the laws of the Member States relating to food supplements. (2002). *Official Journal of the European Communities*. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2002/46/oj>

Grygorieva, N. V. (2025). Prevention and treatment of vitamin D deficiency: New dosages and opportunities. In *Application of Dietary Supplements: For Whom? When? And for What Purpose?* [Scientific Conference Materials].

Grygorieva, N. V., Solonenko, T. Yu., Musiienko, A. S., & Bystrytska, M. A. (2023). Vitamin D deficiency in Ukraine: Current evidence. *BMC Nutrition, 9*(1), 49. <https://doi.org/10.1186/s40795-023-00706-z>

Grygorieva, N. V., Tronko, M., Kovalenko, V., et al. (2024). Ukrainian consensus on diagnosis and management of vitamin D deficiency in adults. *Nutrients, 16*(2), 270. <https://doi.org/10.3390/nu16020270>

Grygorieva, N. V., Vilenskyi, A., Stefiuk, O., et al. (2025). Bone mineral density and vitamin D status in war veterans after lower limb amputation. *Orthopaedics Traumatology and Prosthetics, 3*, 12–19. <https://doi.org/10.15674/0030-59872025312-19>

Holick, M. F. (2007). Vitamin D Deficiency. *New England Journal of Medicine, 357*(3), 266–281. <https://doi.org/10.1056/NEJMra070553>

Pike, J. W., & Meyer, M. B. (2020). The vitamin D receptor: New insights into cell-specific gene regulation. *Endocrinology and Metabolism Clinics of North America, 49*(1), 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.ecl.2019.10.001>

Pludowski, P., Takacs, I., Boyanov, M., et al. (2022). Clinical practice in the prevention, diagnosis and treatment of vitamin D deficiency: A Central and Eastern European expert consensus statement. *Nutrients, 14*(7), 1483. <https://doi.org/10.3390/nu14071483>

Pludowski, P., Kos-Kudla, B., Walczak, M., et al. (2023). Guidelines for preventing and treating vitamin D deficiency: A 2023 update in Poland. *Nutrients*, 15(3), 695. <https://doi.org/10.3390/nu15030695>

Shatylo, S., Bogomaz, V., & Babych, O. (2024). Vitamin D deficiency in Ukraine: A multicentre cross-sectional study. *Global Epidemiology*, 8, 100170. <https://doi.org/10.1016/j.gloepi.2024.100170>

Shulhai, A. M., Pavlyshyn, H., Oleksandra, S., & Furdela, V. (2022). The association between vitamin D deficiency and metabolic syndrome in Ukrainian adolescents with overweight and obesity. *Annals of Pediatric Endocrinology & Metabolism*, 27(2), 113–120. <https://doi.org/10.6065/apem.2142158.079>

Shvets, O. V. (2024). *Meeting the need for vitamin D: Synthesis, nutrition, fortification and supplementation*. [Proceedings of the Scientific and Practical Conference].

Skrobot, W., Perzanowska, E., Krasowska, K., et al. (2020). Vitamin D supplementation improves the effects of the rehabilitation program on balance and pressure distribution in patients after anterior cervical interbody fusion: Randomized control trial. *Nutrients*, 12(12), 3874. <https://doi.org/10.3390/nu12123874>

Vidal, M., & Lane, N. E. (2025). Vitamin D and its role in rheumatic diseases. *Metabolites*, 15(4), 259. <https://doi.org/10.3390/metabo15040259>

Wang, R., Xu, F., Xia, X., et al. (2024). The effect of vitamin D supplementation on primary depression: A meta-analysis. *Journal of Affective Disorders*, 344, 653–661. <https://doi.org/10.1016/j.jad.2023.10.021>

World Health Organization. (2025). *Three years of war: Rising demand for mental health support, trauma care and rehabilitation*. <https://www.who.int/czechia/news/item/24-02-2025-three-years-of-war-rising-demand-for-mental-health-support-trauma-care-and-rehabilitation>

Zhao, H., Wang, M., Peng, X., et al. (2023). Fish consumption in multiple health outcomes: An umbrella review of meta-analyses of observational and clinical studies. *Annals of Translational Medicine*, 11(3), 152. <https://doi.org/10.21037/atm-22-6515>

Отримано 22.11.2025 р., прийнято до друку 10.02.2026 р.

УДК 664.8/9:634.1/5

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.97>

ВПЛИВ МАРИНАДІВ РОСЛИННОГО ПОХОДЖЕННЯ НА СТРУКТУРНО-МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ НАТУРАЛЬНИХ НАПІВФАБРИКАТІВ

Вікторія Костянтинівна Кулик

здобувач

<https://orcid.org/0000-0002-6900-6967>

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, вул. Виставкова, 16, м. Київ, Україна*

Оксана Анатоліївна Штонда

кандидат технічних наук, доцент

<https://orcid.org/0000-0002-7085-6133>

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, вул. Виставкова, 16, м. Київ, Україна*

Анотація. У статті представлені результати досліджень впливу фруктових компонентів на структурно-механічні характеристики маринованих напівфабрикатів із м'яса дикого кабана.

Мета роботи полягає в оцінці впливу натуральних маринадів на показники роботи різання та зусилля зсуву м'ясних маринованих напівфабрикатів. Дослідні зразки натуральних напівфабрикатів були виготовлені зі стегової частини м'яса дикого кабана, у першому зразку до складу маринаду додано порошок ягід журавлини, до другого зразка - порошок чорної смородини, до третього зразка - бальзамічний оцет чорної смородини, зразок без додавання маринаду прийнято за контроль.

У досліджуваних зразках визначали показники роботи різання (Дж) та зусилля зрізу (кН/м^2), які на початку досліджень становили 1,32 Дж та $194,92 \text{ кН/м}^2$ для контрольного зразка, 1,50 Дж та $142,08 \text{ кН/м}^2$ для першого, 1,82 Дж та $161,87 \text{ кН/м}^2$ для другого, 1,95 Дж та $183,73 \text{ кН/м}^2$ для третього зразків. На перехідному етапі зберігання показники роботи різання та зусилля зрізу зменшувались і становили для контрольного зразка 1,23 Дж та $174,7 \text{ кН/м}^2$, для першого – 1,39 Дж та $125,4 \text{ кН/м}^2$, для другого – 1,66 Дж та $145,8 \text{ кН/м}^2$, для третього – 1,76 Дж та $167,2 \text{ кН/м}^2$. На 10 день зберігання спостерігалось підвищення показників у всіх зразках і становило 1,37 Дж та $201,7 \text{ кН/м}^2$ у контрольному, 1,56 Дж та $147,8 \text{ кН/м}^2$ у першому, 1,89 Дж та $167,6 \text{ кН/м}^2$ у другому, 2,1 Дж та $189,4 \text{ кН/м}^2$ у третьому зразках.

Дослідження підтвердили позитивний ефект додавання до маринаду бальзамічного оцту, порошку журавлини та чорної смородини приготувані натуральних напівфабрикатів із м'яса дикого кабана. За результатами досліджень встановлено, що маринади з природними компонентами дозволяють пом'якшити жорстке м'ясо дикого кабана та стабілізувати структуру м'язових тканин впродовж зберігання.

Результати отримані в ході дослідження підтверджують ефективність та перспективність використання натуральних компонентів у складі маринаду для м'ясних напівфабрикатів із м'яса дичини.

Ключові слова: м'ясо дикого кабана, робота різання, зусилля зрізу, маринад, бальзамічний оцет, чорна смородина, журавлина.

UDC664.8/9:634.1/5

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.97>

INFLUENCE OF MARINADES OF VEGETABLE ORIGIN ON THE STRUCTURAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF NATURAL SEMI-FINISHED PRODUCTS

Viktoriiia Kulyk

postgraduate student

<https://orcid.org/0000-0002-6900-6967>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

03041, Vystavkova Str., 16, Kyiv, Ukraine

Oksana Shtonda

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0002-7085-6133>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

03041, Vystavkova Str., 16, Kyiv, Ukraine

Abstract. The article presents the results of studies of the influence of fruit and berry components on the structural and mechanical characteristics of marinated semi-finished products from wild boar meat. The aim of the work is to assess the influence of natural marinades on the cutting performance and shearing force of marinated meat semi-finished products.

Experimental samples of natural semi-finished products were made from the thigh part of wild boar meat. In the first sample, cranberry powder was added to the marinade; in the second sample, blackcurrant powder was added; in the third sample, blackcurrant balsamic vinegar was added; and the sample without the addition of marinade was taken as a control. In the studied samples, the cutting work (J) and shear force (kN/m²) were determined, which at the beginning of the studies were 1.32 J and 194.92 kN/m² for the control sample, 1.50 J and 142.08 kN/m² for the first, 1.82 J and 161.87 kN/m² for the second, 1.95 J and 183.73 kN/m² for the third samples. At the transitional stage of storage, the cutting work and shear force decreased and were 1.23 J and 174.7 kN/m² for the control sample, 1.39 J and 125.4 kN/m² for the first, 1.66 J and 145.8 kN/m² for the second, and 1.76 J and 167.2 kN/m² for the third. On the 10th day of storage, an increase in the indicators was observed in all samples and amounted to 1.37 J and 201.7 kN/m² in the control, 1.56 J and 147.8 kN/m² in the first, 1.89 J and 167.6 kN/m² in the second, and 2.1 J and 189.4 kN/m² in the third samples.

Studies have confirmed the positive effect of adding balsamic vinegar, cranberry powder, and blackcurrant to the marinade in the manufacture of natural semi-finished products from wild boar meat. The results of the studies have shown that marinades containing natural components soften tough wild boar meat and stabilize the structure of muscle tissue during storage.

The results obtained during the study confirm the effectiveness and prospects of using natural components in the marinade for semi-finished meat products from game meat

Keywords: wild boar meat, cutting work, cutting effort, marinade, balsamic vinegar, black currant, cranberry.

ВСТУП. Забезпечення населення високоякісними та екологічно безпечними м'ясними продуктами є одним із пріоритетних завдань соціально-економічного розвитку України на сучасному етапі. У цьому контексті значна увага приділяється пошуку нових джерел харчових продуктів, здатних розширити асортимент м'ясної продукції та задовольнити зростаючі потреби споживачів. Сучасний український ринок пропонує широкий вибір м'ясних виробів, виготовлених із традиційної м'ясної сировини. Водночас існує окремий сегмент споживачів, які дедалі активніше шукають нові делікатесні продукти. Одним із перспективних напрямів є виробництво м'ясних делікатесів із м'яса диких тварин. Такі

вироби вирізняються унікальними смаковими якостями та високим вмістом поживних речовин, а їх виробництво має значний потенціал для розвитку та розширення ринку м'ясної продукції.

На відміну від м'яса домашніх тварин, м'ясо дичини характеризується підвищеним вмістом мінеральних речовин та вітамінів, водночас містить менше жиру, який переважно накопичується в нутрощах та підшкірній клітковині, тоді як у м'язовій тканині він практично відсутній. Водночас м'ясо диких тварин відзначається високим вмістом азотистих речовин, головним чином білків, що підвищує його харчову цінність.

За показниками засвоюваності м'ясо дичини вважається більш цінним продуктом, що пояснюється низьким вмістом жиру та високим вмістом повноцінних білків, вітамінів і ключових мінеральних елементів, зокрема кальцію, заліза та фосфору. Висока засвоюваність зумовлена сприятливим складом пуринових сполук, а відносно високий рівень креатину та інших біологічно активних компонентів позитивно впливає на функціонування вегетативної нервової системи людини.

Завдяки низькому вмісту жиру м'ясо дичини має знижені енергетичні показники, що робить його рекомендованим як для розширення асортименту харчових продуктів, так і для включення у щоденне меню, забезпечуючи одночасно високу харчову цінність і сприятливий дієтичний ефект (Tyshchenko et al., 2023)

Протягом останніх декількох десятиліть наукові дослідження у сфері харчової науки та технологій виробництва харчових продуктів дедалі більше зосереджуються на комплексному вивченні функціональних властивостей харчових систем, а також на розробленні інноваційних технологій, спрямованих на підвищення їх біологічної цінності та забезпечення терапевтичного ефекту. Систематичний аналіз сучасної наукової літератури, опублікованої впродовж останнього десятиліття, демонструє підвищену увагу до інтеграції біологічно активних компонентів у склад харчових продуктів, що обумовлює нагальну потребу у створенні нових функціональних інгредієнтів з використанням природних ресурсів, а також у визначенні їхньої ролі у підтримці здоров'я та профілактиці хронічних захворювань.

Зокрема, численні дослідження підкреслюють терапевтичний потенціал біологічно активних інгредієнтів у контексті організації раціонального харчування пацієнтів із хронічними патологіями, такими як серцево-судинні, метаболічні, запальні та імунні розлади. Впровадження функціональних харчових продуктів та нутрицевтиків, що містять різноманітні функціонально активні сполуки, дозволяє забезпечувати регуляцію метаболічних процесів, підтримку імунного гомеостазу та покращення загального стану здоров'я, що відкриває нові перспективи у сфері персоналізованого харчування та медико-біологічної підтримки організму.

Натуральні інгредієнти визначаються як речовини, що застосовуються у виробництві харчових продуктів або в процесі кулінарного оброблення, зберігаються у кінцевому продукті, навіть у модифікованому вигляді, та проявляють виражену біологічну активність щодо організму споживача. До таких компонентів належать полісахариди, пептиди, біологічно активні ліпіди, флавоноїди, мікроелементи та інші біоактивні сполуки, які виконують регуляторну функцію у фізіологічних процесах, сприяють оптимізації метаболізму та підтримці гомеостазу.

У сучасних умовах натуральні компоненти набувають стратегічного значення не лише в харчовій промисловості, але й у фармакології, нутрицевтиці та медико-біологічних дослідженнях. Їх інтеграція у продукти харчування дозволяє створювати харчові системи з підвищеною функціональною цінністю, спрямовані на профілактику та корекцію різноманітних патологічних станів, підвищення адаптаційних ресурсів організму та забезпечення раціонального та здорового харчування населення. Використання натуральних інгредієнтів у виробництві харчових продуктів відповідає сучасним тенденціям здорового харчування та відкриває широкі перспективи для розвитку функціональної, терапевтичної та

персоналізованої харчової науки, що є ключовим напрямом у підвищенні якості життя та довголіття сучасного суспільства (Borsolyuk et al., 2018).

На підставі результатів аналітичних досліджень науковців (Oschypok, 2020) встановлено, що протягом останніх двох–трьох десятиліть у виробництві м'ясопродуктів набуло широкого поширення використання м'ясної сировини, отриманої від диких тварин. Доведено, що м'ясо нетрадиційних і диких видів за показниками харчової та біологічної цінності не поступається, а в багатьох випадках перевищує традиційну м'ясну сировину, насамперед за вмістом повноцінних білків, що обґрунтовує доцільність його застосування у технологіях виробництва білковмісних харчових продуктів.

Білки м'язової тканини диких тварин є біологічно повноцінними та характеризуються збалансованим амінокислотним складом; за вмістом і співвідношенням незамінних амінокислот вони наближаються до параметрів «ідеального білка» за рекомендаціями ФАО/ВООЗ. М'язова тканина цих тварин також відзначається зниженим вмістом жиру, у складі якого спостерігається підвищена частка поліненасичених жирних кислот (Khomych, 2021).

Крім того, м'ясо диких тварин характеризується підвищеним вмістом окремих мінеральних речовин і вітамінів порівняно з традиційною м'ясною сировиною, що додатково підвищує його харчову та функціональну цінність і визначає перспективність використання у виробництві функціональних і спеціалізованих м'ясних продуктів (Shtyk, 2024).

У роботі (Peshuk et al., 2023) досліджено хімічний склад та функціонально-технологічні показники м'яса дикого кабана в порівнянні з традиційною сировиною та встановлено його переваги, підібрано сировину для виготовлення маринадів; визначено фізико-хімічні та функціонально-технологічні показники напівфабрикатів вивчено вплив основних способів теплового оброблення на якість готової продукції. На основі аналізу та узагальнення теоретичних даних, результатів комплексних досліджень встановлено, що за хімічним складом та функціонально-технологічними властивостями м'ясо дикого кабана переважає м'ясо сільськогосподарських тварин.

Науковцями (Bozhko et al., 2023) проведено дослідження, які встановили, що м'ясо дикого кабана має високу харчову цінність, достатньо високі функціонально-технологічні характеристики та більш щільну структуру та консистенцію у порівнянні із м'ясом сільськогосподарських тварин.

Дослідження науковців (Peshuk et al., 2024) встановили, що сучасні технології маринування м'яса дичини базуються на використанні натуральних ферментів і органічних кислот, що забезпечує покращення структурно-механічних та органолептичних властивостей продукції. Застосування рослинних інгредієнтів, зокрема ківі, за оптимальної тривалості маринування 24–27 годин і концентрації 20–30 % сприяє підвищенню якості, виходу та біологічної цінності напівфабрикатів. Таким чином, удосконалені методи маринування дозволяють отримувати конкурентоспроможні, економічно доцільні та високоякісні вироби з дичини.

Використання натуральних інгредієнтів у технології м'ясних напівфабрикатів є ефективним підходом до формування високих споживчих і технологічних властивостей продукту без застосування синтетичних добавок. Рослинні компоненти маринадів здатні регулювати структурно-механічні характеристики м'яса, підвищувати його ніжність, соковитість та стабільність якості, що особливо важливо для натуральних напівфабрикатів із м'яса з підвищеною жорсткістю.

Авторами (Latoch et al., 2023) проведено дослідження натуральних інгредієнтів м'ясних маринадів, таких, як фрукти та овочі, приправи, ферментовані молочні продукти, вино та пиво. Натуральні маринади покращують сенсорну характеристику, кулінарні властивості м'яса, та збільшують терміни зберігання. Натуральні компоненти впливають на безпеку м'ясних продуктів, обмежуючи окислення жирів і білків.

Науковці акцентують увагу на важливості вибору компонентів маринадів для досягнення бажаних текстурних змін. Органічні кислоти, екстракти ферментів та фруктово-ягідні інгредієнти мають значний вплив на білкову структуру, що зменшує силу зсуву та покращує споживчу ніжність навіть у жорстких видах м'яса (Moeini et al., 2022).

Побічні продукти рослинного походження розглядаються як перспективні альтернативні джерела доступних природних антиоксидантів, які, окрім здатності інгібувати окиснювальні процеси, можуть впливати й на інші якісні характеристики харчових продуктів, зокрема м'ясних. Технологічна обробка м'яса з використанням фруктово-ягідних інгредієнтів застосовується з метою поліпшення його технологічних та органолептичних показників. Одним із найпростіших способів є маринування м'ясної сировини у відповідних розчинах. Процес маринування сприяє підвищенню ніжності та соковитості м'яса, що зумовлено дією органічних кислот, які містяться у фруктово-ягідній сировині (Kulyk et al., 2025).

Природні джерела є перспективною основою для отримання натуральних добавок, які можуть інтегруватися до структури м'ясних продуктів. Найбільш поширеними є екстракти спецій, трав, горіхів, фруктів і овочів, що отримують як із цільної сировини, так і з її окремих частин або побічних продуктів переробки. Такі екстракти багаті на біологічно активні сполуки з антиоксидантними властивостями, зокрема поліфеноли, антоціани та вітаміни, здатні гальмувати окиснення ліпідів і пігментів, подовжуючи термін зберігання та покращуючи органолептичні показники м'ясних виробів (Kolev, 2022).

Таким чином, дослідження натуральних напівфабрикатів з використанням маринадів із натуральними компонентами на показники зусилля зрізу та роботи різання є інформативними критеріями оцінювання структурно-механічних властивостей м'ясних напівфабрикатів, що дозволяють комплексно охарактеризувати вплив рецептурних компонентів і умов зберігання на якість та ніжність м'яса, зокрема дичини.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ. Визначення впливу маринадів на основі рослинних компонентів на структурно-механічні показники маринованих натуральних напівфабрикатів із м'яса дикого кабана.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Дослідження структурно-механічних показників, зокрема роботи різання та зусилля зрізу маринованих натуральних напівфабрикатів виготовлених з м'яса дикого кабана із фруктово-ягідними компонентами проводили відповідно до міжнародної методики оцінки текстурних властивостей м'яса та м'ясних продуктів, що базується на рекомендаціях щодо профілю текстури (ISO 11036:2020 Sensory analysis - Methodology - Texture profile) та узгоджених протоколах Warner-Bratzler.

Структурно-механічні дослідження було проведено у трьох паралельних повтореннях на універсальній механічній тест-машині «SANS» серії CMT2000, моделі 2503. Визначення показників зусилля зрізу та роботи різання здійснювали за допомогою насадки Warner-Bratzler. Дослідження полягає у безперервному вимірюванні та реєстрації навантаження, яке виникає внаслідок опору зразка механічній дії, а саме різанню. Зразок напівфабрикату певної форми поміщали на нерухому раму, центрували відносно насадки. Потім запускали хід траверси і вмикали реєстрацію отриманих даних на комп'ютер. За допомогою програмного забезпечення Power Test_DOOE здійснено обчислення математичних розрахунків, статистичну обробку результатів проводили із використанням Microsoft Office Excel.

У процесі виготовлення зразків використано: стегнову частину м'яса дикого кабана, кухонна сіль, цукор, мелений чорний перець, горіх мускатний, розмарин, гірчичний порошок, копчена паприка, сушений часник та цибуля, порошки сушених плодів журавлини, чорної смородини та бальзамічний оцет чорної смородини. До трьох зразків вносили попередньо підготовлені маринадні суміші, зразок № 1 містив порошок сушених плодів журавлини, зразок № 2 – сушених плодів чорної смородини, зразок № 3 – бальзамічний оцет з плодів

чорної смородини, тоді як контрольним зразком слугував напівфабрикат без маринаду. Досліджувані зразки формували однакового розміру та маринували 24 години за температури +4 °С, та відслідковували динаміку змін структурно-механічних показників продовж 10 днів зберігання при температурі +4 °С.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Дослідження структурно-механічних показників таких, як зусилля зрізу та робота різання є одними із ключових показників, які характеризують м'ясні напівфабрикати на жорсткість, ніжність та технологічну придатність м'яса.

Визначення зусилля зрізу показує максимальний опір м'язової тканини при механічному руйнуванню. Даний показник є загальновизнаним об'єктивним критерієм оцінки ніжності м'яса, що широко використовується у різних дослідженнях. Зазвичай, зниження значення зусилля зрізу свідчить про деструкцію білкової структури, ослаблення зв'язків між м'язовими волокнами, що спричинено автолізом та активністю ендогенних протеолітичних ферментів (Yang et al., 2022). Особливе значення цей показник має для м'яса диких тварин, зокрема м'яса дикого кабана, оскільки зазначена сировина безпосередньо відрізняється вищим початковим показником жорсткості м'яса, більш розвиненою сполучною тканиною та низьким вмістом внутрішньом'язового жиру у порівнянні з м'ясом свійських тварин.

Результати досліджень зусилля зрізу маринованих натуральних м'ясних напівфабрикатів наведено у таблиці 1.

Таблиця 1. Показники зусилля зрізу дослідних зразків натуральних напівфабрикатів із м'яса дикого кабана, кН/м²

День зберігання	Контрольний зразок	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3
1	194,92	142,08	161,87	183,73
3	181,5	131,0	152,7	171,6
5	174,7	125,4	145,8	167,2
7	185,9	133,4	154,6	177,8
10	201,7	147,8	167,6	189,4

Отримані результати свідчать, що впродовж зберігання до п'ятої доби у всіх зразках спостерігається зниження показників зусилля зрізу, що зумовлене впливом органічних кислот, що входять до складу маринаду. Відбувається активація ендогенних протеаз, послаблюється зв'язок між м'язами та між волокнами, також, під впливом фруктово-ягідних компонентів наявний кислотний гідроліз білків.

Показник зусилля зрізу на третій день зберігання для контрольного зразка знизився на 13,42 кН/м², зразок № 1 з додаванням до маринаду порошку з плодів журавлини на 11,08 кН/м², для другого із додаванням до маринаду порошку із плодів чорної смородини на 9,17 кН/м², для третього із додаванням до маринаду бальзамічного оцту чорної смородини на 12,13 кН/м². На п'яту добу зберігання показник зусилля зрізу зменшився на 20,22 кН/м² у контрольному, на 16,68 кН/м² у першому, на 16,07 кН/м² у другому, на 16,53 кН/м² у третьому зразках. Найбільш виразне зниження спостерігалось у першому зразку на 7,77 % у третю добу та на 11,7 % на п'яту добу.

Зберігання досліджуваних зразків м'ясних напівфабрикатів із м'яса дикого кабана на 7 день характеризувалось уповільненням ферментативних процесів, втратою вологи, показники зусилля зрізу зросли у порівнянні із 5 днем, але не перевищили початкові дані. Відповідно до початкових показників зусилля зрізу було нижчим на 9,02 кН/м² для контрольного, на 8,68 кН/м² для першого зразку із використанням у маринаді порошку із плодів журавлини, 7,27 кН/м² для другого із використанням у маринаді порошку плодів

чорної смородини та 5,93 кН/м² для третього із використанням у маринаді бальзамічного оцту плодів чорної смородини. На 10 день зусилля зрізу дослідних зразків збільшилось на 5,72 кН/м² у першому, на 5,73 кН/м² у другому, на 5,67 кН/м² у третьому, найбільше підвищення на 6,78 кН/м² спостерігалось у контрольному зразку.

Характерними для третього зразку були найбільш повільні зміни впродовж зберігання, високою структурною стабільністю. Другий зразок на всіх етапах мав проміжні значення, помірний вплив маринаду та стабільнішу структуру ніж перший зразок, який мав найінтенсивніший ефект пом'якшення за рахунок маринаду та мінімальні показники на всіх етапах дослідження. Тоді, як контрольний зразок виявився найменш стабільним впродовж зберігання, значення зусилля зрізу були найвищі в порівнянні з іншими досліджуваними зразками.

Дослідження показників роботи різання дозволяє оцінити зміни структури м'яса протягом всього процесу деформації, показує вплив маринаду на стійкість м'язових волокон, пластичність та еластичність тканин.

Результати досліджень роботи різання маринованих натуральних м'ясних напівфабрикатів наведено у таблиці 2.

Таблиця 2. Показники роботи різання дослідних зразків натуральних напівфабрикатів із м'яса дикого кабана, Дж

День зберігання	Контрольний зразок	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3
1	1,32	1,50	1,82	1,95
3	1,26	1,43	1,71	1,81
5	1,23	1,39	1,66	1,76
7	1,29	1,46	1,75	1,86
10	1,37	1,56	1,89	2,1

У досліджуваних зразках м'ясних напівфабрикатів частково послаблюються міжволоконні зв'язки, активуються протеолітичні ферменти за рахунок дії органічних кислот фруктово-ягідних порошоків та бальзамічного оцту. Показник роботи різання на третій день зменшився на 0,06 Дж у контрольному зразку, на 0,07 Дж у зразку № 1 із використанням порошку ягід журавлини, 0,11 Дж у зразку № 2 із використанням порошку плодів чорної смородини, 0,14 Дж у зразку № 3 із використанням бальзамічного оцту із плодів чорної смородини. Також зниження показників роботи різання спостерігається на п'ятий день, для контрольного зразка на 0,09 Дж, для зразка № 1 на 0,11 Дж, для зразка № 2 на 0,16 Дж, для зразка № 3 на 0,19 Дж. Структура натуральних напівфабрикатів із м'яса дикого кабана стає більш пластичною. Найбільш виразні зміни роботи різання спостерігались у третьому зразку на третій день 7,17 % та на 9,74 % на п'ятий день.

На 7 день зберігання уповільнилися ферментативні процеси, показники роботи різання почали підвищуватись у порівнянні із 5 днем, але не перевищували початкові дані. Для контрольного зразка показник зменшився на 0,03 Дж, для першого на 0,04 Дж, для другого на 0,07 Дж, для третього на 0,09 Дж. відносно початкових даних. Ущільненням структури та перевищенням початкових показників роботи різання характеризувались всі зразки на 10 день зберігання. У контрольному зразку показник роботи різання збільшився на 0,05 Дж, першому на 0,06 Дж, другому на 0,07 Дж та найбільше у четвертому зразку на 0,15 Дж.

Контрольний зразок характеризувався найменшими показниками роботи різання, швидші зміни текстурних характеристик та найменшою стабільністю в процесі зберігання. Другий та третій зразки володіли кращою стабільністю структури, плавною динамікою змін показників. Третій зразок мав найбільш високі показники на всіх етапах, характеризувався високою структурною зв'язаністю та був максимально стабільний під час зберігання.

В ході дослідження маринованих натуральних напівфабрикатів з м'яса дикого кабана встановлено, що значення показників роботи різання та зусилля зрізу впродовж зберігання змінювались залежно від рецептурного складу маринаду. Отримані дані свідчать про тісний взаємозв'язок між зусиллям зрізу та роботою різання натуральних напівфабрикатів із м'яса дикого кабана. Зниження зусилля зрізу в процесі зберігання супроводжується відповідним зменшенням роботи різання, що підтверджує інформативність обох показників для оцінки структурно-механічних властивостей продукту (рисунок 1,2).

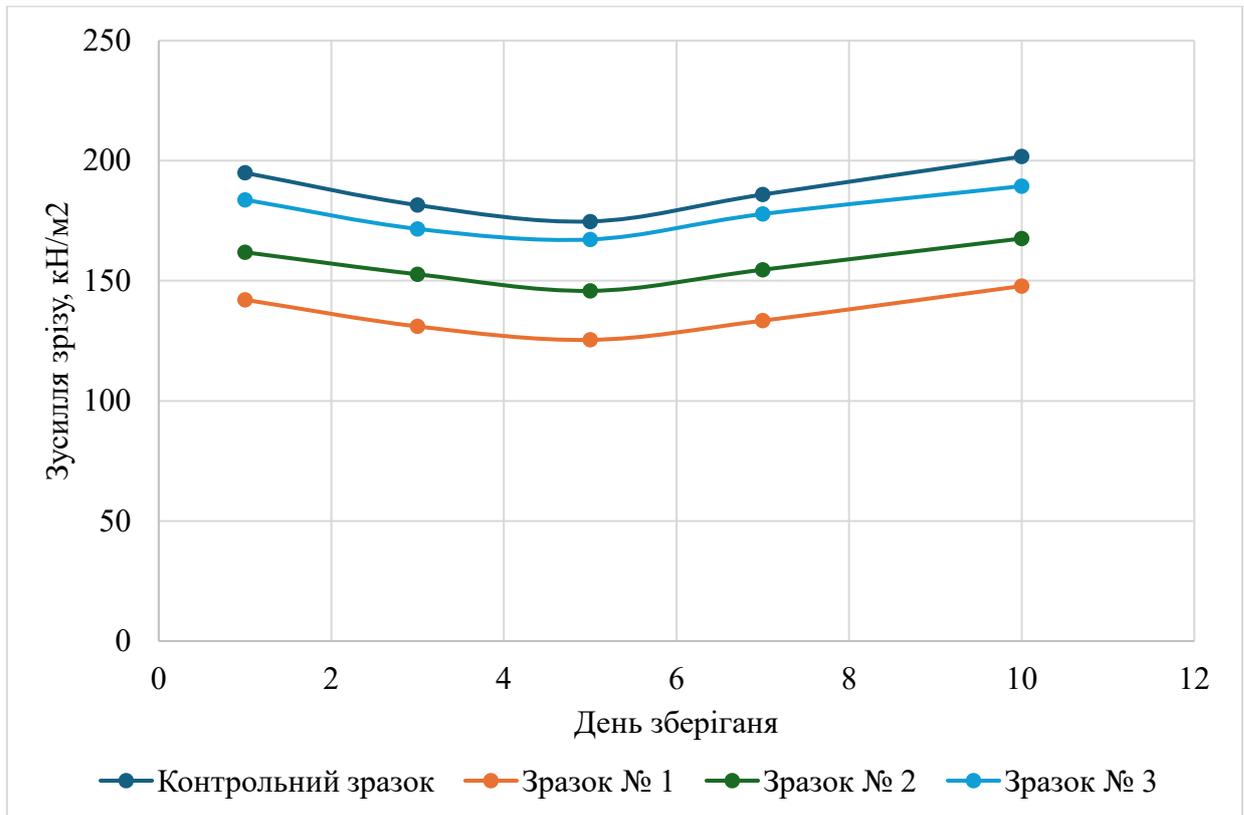


Рисунок 1. Динаміка зміни показників зусилля зрізу дослідних зразків натуральних напівфабрикатів із м'яса дикого кабана, кН/м²

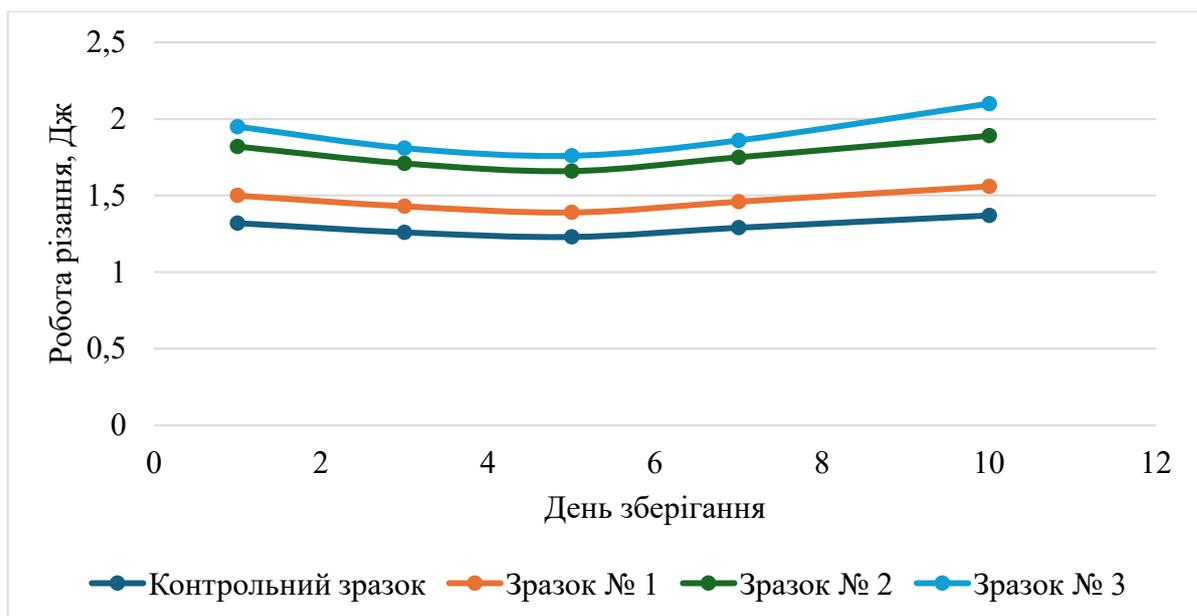


Рисунок 2. Динаміка зміни показників роботи різання дослідних зразків натуральних напівфабрикатів із м'яса дикого кабана, Дж

Зниження механічних показників на 3 – 5 день спостерігалось у зразках № 1 із порошком сушених ягід журавлини, № 2 із порошком сушених ягід чорної смородини та у зразку № 3 із бальзамічним оцтом чорної смородини у порівнянні з контрольним зразком, що характеризує структурне розм'якшення тканин.

Такі зміни пояснюються фізико-хімічними процесами, які відбуваються за рахунок дії складових маринаду. Наявність органічних кислот фруктових складових маринаду знижують часткову денатурацію білків, що призводить до розірвання зв'язків між волокнами тканин і зменшує зусилля зрізу. Отримані результати узгоджуються з даними досліджень (Ardicli et al., 2024) та мають аналогічний ефект маринадів із натуральними компонентами на м'ясні напівфабрикати. Органічні кислоти у складі маринаду знижували жорсткість волокон та підвищували ніжність м'яса після маринування впродовж 24 годин

На 5 та 7 дні зберігання більшість зразків характеризувались стабілізацією або початковим зростанням зусилля зрізу та роботи різання, що вказує на деякі відновлення структурної цілісності білків м'яса. Дослідження Serdaroglu et al., (2024) загального механізму зміни м'язових тканин м'яса після максимальної активності ферментів та органічних кислот маринадів, певна частина білків ресоціюється, що підвищує їх опір до механічного руйнування показує, що використання маринадів на основі рослинних компонентів демонструють найбільш виражений пом'якшувальний ефект, що узгоджується з отриманими в нашому дослідженні результатами.

Поступове підвищення зусилля зрізу та роботи різання спостерігалось у всіх дослідних зразках на 7 та 10 дні, що показує дегідратацію тканин та ущільнення волокон за тривалого зберігання.

Важливо відзначити, комплексний вплив маринаду із фруктових складових компонентами на текстурні характеристики, органічні кислоти пом'якшують структуру м'яса, але водночас тривале зберігання компенсує цей вплив за рахунок структурних змін сполучної тканини У дослідженнях (Erdem, 2025) спостерігається подібні результати, коли маринад до складу якого входить фруктовий оцет, помітно зменшував роботу різання та зусилля зсуву у зразках із жорсткого м'яса.

Результати досліджень показали характерну динаміку зміни показників зусилля зрізу та роботи різання у натуральних маринуваних напівфабрикатах із м'яса дикого кабана у процесі зберігання. Отримані дані на третю та п'яту добу показали тенденцію до зниження показників роботи різання та зусилля зрізу на початкових термінах зберігання. Згодом, на сьому та десяту добу зберігання спостерігалось поступове підвищення показників, що вказує на текстурно-механічні зміни. Такі результати узгоджуються із результатами досліджень впливу кислотного середовища маринадів на структурно-механічні властивості м'яса. Відповідно до праці Rostamani et al., (2021), результати досліджень впливу маринаду із рослинними екстрактами та оцтом на м'ясо яловичини спричинило зниження показників зусилля зрізу, що пов'язано із зміною вологоутримуючої здатності та рН м'яса.

Аналогічні результати представлені у праці Serdaroglu et al., (2024), в яких підтверджено вплив на структурно-механічні характеристики м'яса за рахунок використання маринадів з рослинними інгредієнтами. Також, зменшення показників зусилля зрізу і роботи різання у натуральних м'ясних маринуваних напівфабрикатах на 3-5 добу зберігання та підвищення показників на 7-10 добу узгоджуються із результатами досліджень Mazaheri Kalahrodi et al., (2020), у яких встановлено зменшення аналогічних параметрів у яловичині після використання маринадів із натуральними компонентами.

Результати досліджень показників зусилля зрізу та роботи різання натуральних маринуваних напівфабрикатів з м'яса дикого кабана відображають узгоджену динаміку

зменшення механічної жорсткості у перші дні зберігання, далі спостерігається поступове вирівнювання цих параметрів на 10 добу зберігання. Такі зміни відповідають загальним тенденціям, які описані в наукових дослідженнях щодо впливу маринадів з органічними кислотами. Зниження зусилля зрізу зазвичай асоціюється із підвищенням ніжності структури м'яса, та доводить позитивний ефект маринадів із рослинними компонентами (Wakita et al., 2023).

Взаємозв'язок між показниками зусилля зрізу та роботи різання підтверджено дослідженнями науковців, у працях, яких ці параметри розглядаються як комплементарні індикатори механічної цілісності та структурної організації м'язових волокон. Зокрема, у дослідженні Yar et al. (2022) продемонстровано, що в процесі тривалого дозрівання м'яса відбувається поступова деградація міофібрилярних білків і послаблення міжклітинних зв'язків у сполучній тканині, що зумовлює зниження зусилля зрізу як показника жорсткості. Встановлено, що зміни цього параметра корелюють із трансформаціями фізико-хімічних характеристик м'язової тканини, зокрема вологоутримувальної здатності, ступеня протеолізу та рівня денатурації білків. Оскільки робота різання інтегрально відображає сумарні енергетичні витрати на руйнування структурних елементів м'яса, її динаміка узгоджується зі змінами зусилля зрізу, що підтверджує їх функціональну взаємодоповнюваність. Таким чином, комплексний аналіз зазначених показників дозволяє більш об'єктивно оцінити текстурні властивості м'яса та глибину структурних перетворень, які відбуваються під час дозрівання, а також підвищує інформативність інструментальних методів контролю якості продукції.

Отримані результати узгоджуються із дослідженнями Źochowska-Kujawska et al., (2017), в яких описано зниження показників зусилля зрізу та роботи різання для м'яса диких тварин, зокрема козулі та дикого кабана за рахунок маринадів, до складу яких входили ананас, імбир, бальзамічний оцет та лимон з медом. За рахунок протеолітичних ферментів та низького рН маринадів, їх можна використовувати для надання ніжності жорсткому м'ясу і покращення смаку та аромату напівфабрикату. Використання таких маринадів сприяє пом'якшенню структури м'яса, що позитивно впливає на споживчі та якісні характеристики напівфабрикатів.

Також, отримані результати співвідносяться із дослідженням Unal et al., (2023), щодо впливу маринадів із використанням фруктових оцтів на структурно-механічні властивості м'яса. Результати яких, свідчать про зменшення жорсткості та покращення текстури м'яса за рахунок кислотних компонентів у складі маринадів. Спостерігається аналогічна дія органічних кислот фруктових компонентів, яка спричиняє послаблення зв'язку між м'язами, що у свою чергу зменшує опір тканин до механічного навантаження та надає ніжної структури напівфабрикату.

Зменшення показників роботи різання та зусилля зрізу у натуральних маринованих напівфабрикатах з м'яса дикого кабана на початкових стадіях зберігання узгоджується із даними досліджень, в яких продемонстровано подібні зміни структурно-механічних властивостей м'яса під дією органічних кислот у складі маринаду. Ardicli et al. (2024), описали та підтвердили ефективність використання маринадів із рослинними складовими, за рахунок яких покращується текстура м'яса.

У праці Rahman et al. (2023) охарактеризовано вплив маринадів із використанням рослинних компонентів на структурно-механічні властивості м'яса різних видів. Авторами встановлено, що застосування натуральних інгредієнтів рослинного походження зумовлює пом'якшення м'язової тканини та оптимізацію її текстурних характеристик. Зокрема, показано зниження значень зусилля зрізу та роботи різання після мариновання, що свідчить про послаблення міжм'язових і внутрішньом'язових зв'язків. Такий ефект пояснюється дією органічних кислот і фенольних сполук, які містяться у фруктах та ягодах і здатні модифікувати білкові структури, підвищувати проникність клітинних мембран і активізувати процеси часткового протеолізу. Крім того, біоактивні речовини рослинного походження

можуть впливати на стан сполучнотканинних білків, сприяючи їхній гідратації та зменшенню жорсткості. Таким чином, результати дослідження підтверджують доцільність використання рослинних маринадів як ефективного технологічного прийому для регулювання показників механічної стійкості м'яса та покращення його споживчих властивостей.

Отже, результати досліджень узгоджуються із даними досліджень інших науковців, що у свою чергу підтверджує позитивний ефект маринадів із натуральними складовими. Зменшення показників роботи різання та зусилля зрізу для натуральних маринованих напівфабрикатів із м'яса дикого кабана були очікуваними, за рахунок впливу фенольних сполук та органічних кислот рослинних компонентів маринадів, які активують ферментні процеси та зміни у структурі м'язової тканини м'яса, що обумовлює зниження жорсткості м'ясних напівфабрикатів. Подібні тенденції спостерігаються для різних видів м'яса та різноманітних технологічних способах обробки м'ясної сировини, що доводить універсальні властивості взаємодії натуральних компонентів маринадів з м'язовою структурою м'яса.

ВИСНОВКИ. Задля визначення впливу маринадів на основі фруктово-ягідних інгредієнтів на структурно-механічні показники маринованих натуральних напівфабрикатів із м'яса дикого кабана, досліджено підготовлені зразки з м'яса дикого кабана із додаванням бальзамічного оцту чорної смородини та порошоків плодів журавлини та чорної смородини у маринад. Аналіз структурно-механічних показників, зокрема роботи різання та зусилля зрізу м'ясних напівфабрикатів з м'яса дикого кабана свідчить про пряму функціональну залежність цих параметрів. Упродовж перших 5 днів зберігання у дослідних зразках помітне зниження як роботи різання: у контрольному зразку на 6,81%, у зразку № 1 на 7,33%, у зразку № 2 на 8,79%, у зразку № 3 на 9,74%, так і, зусилля зрізу: у контрольному зразку 10,37%, у зразку № 1 на 11,73%, у зразку № 2 на 9,92%, у зразку № 3 на 8,99%, що зумовлено підвищенням протеолітичних процесів та дією органічних кислот фруктово-ягідних компонентів у складі маринадів.

Після 7 дня зберігання спостерігалось підвищення досліджуваних показників роботи різання та зусилля зрізу, що свідчить про ущільнення білків м'язової тканини. На 10 день зберігання контрольний зразок характеризувався найменшою стабільністю структури в процесі зберігання, а показник зусилля зрізу збільшився на 3,47%, для зразку № 1 на 4,02%, для зразку № 2 на 3,53 %, для зразку № 3 на 3,08% у порівнянні від початкових значень. Однак, використання маринадів на основі ягід сприяло формуванню більш пластичної м'язової структури та зниженню механічного опору руйнуванню. Зразок № 3 до складу маринаду якого додано бальзамічний оцет чорної смородини відрізнявся найбільш стабільною динамікою змін показників, що вказує на уповільнення структурних перетворень під час зберігання.

Встановлено, що зусилля зрізу та робота різання є взаємопов'язаними показниками, які комплексно характеризують структурно-механічні властивості м'ясних напівфабрикатів із дичини. Застосування маринадів на основі фруктово-ягідних інгредієнтів дозволяє зменшити жорсткість м'язової тканини та стабілізувати її структуру впродовж зберігання, що підтверджується взаємною динамікою обох показників.

Подяки. Автори статті вдячні відділу аналітичних досліджень та якості харчової продукції Інституту продовольчих ресурсів НААН України за допомогу в проведенні структурно-механічних досліджень.

Конфлікт інтересів. Немає.

References

Ardicli, S., Ardicli, O., & Ustuner, H. (2024). Unraveling the Complexities of Beef Marination: Effect of Marinating Time, Marination Treatments, and Breed. *Foods*, 13(18), 2979. <https://doi.org/10.3390/foods13182979>

- Borsolyuk, L., Voitsekhivska, L., Franko, O., Shelkova, T., & Verbytskyi, S. (2018). Substantiation of formulations of value added pate products, intended for nutrition of children of preschool and school age. *Food resources*, 6(10), 49–62. <https://doi.org/10.31073/foodresources2018-10-06>
- Bozhko, N. V., Tischenko, V. I., Pasichnyi, V. M., Marinin, A. I., & Matsuk, Y. A. (2023). Comparative analysis of the chemical composition, functional-technological, rheological, and antioxidant properties of wild boar meat (*Sus scrofa*) with DFD properties and industrial pork. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 22(3), 257–266. <https://doi.org/10.17306/j.afs.1144>
- Erdem, N. (2025). Assessment of the Impact of Fruit Vinegars on the Tenderness and Quality Attributes of Spent Hen Meat. *Food Science & Nutrition*, 13(7). <https://doi.org/10.1002/fsn3.70544>
- Ge, Q., Guo, S., Chen, S., Wu, Y., Jia, Z., Kang, Z., Xiong, G., Yu, H., Wu, M., & Liu, R. (2022). A comparative study of vacuum tumbling and immersion marination on quality, microstructure, and protein changes of Xueshan chicken. *Frontiers in Nutrition*, 9. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1064521>
- Khomych, H. P., Oliinyk, L. B., & Nakonechna, Yu. H. (2021). Optimization of technological characteristics of marinated meat semi-finished products. *Herald of Lviv University of Trade and Economics Technical sciences*, (25), 127–135. <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2021-25-17>
- Kolev, N. D. (2022). Natural antioxidants – an alternative for reduction of nitrites in cooked meat products. *Food Science and Applied Biotechnology*, 5(1), 64. <https://doi.org/10.30721/fsab2022.v5.i1.167>
- Kulyk, V., Shtonda, O., Slobodianiuk, N., Holembovska, N., & Stetsyuk, I. (2025). The use of fruit and berry ingredients in the technology of natural meat semi-finished products. *Human and nation's Health*, 3(2), 93-104. <https://doi.org/10.31548/humanhealth.2.2025.93>
- Latoch, A., Czarniecka-Skubina, E., & Moczowska-Wyrwisz, M. (2023). Marinades Based on Natural Ingredients as a Way to Improve the Quality and Shelf Life of Meat: A Review. *Foods*, 12(19), 3638. <https://doi.org/10.3390/foods12193638>
- Mazaheri Kalahrodi, M., Baghaei, H., Emadzadeh, B., & Bolandi, M. (2020). The combined effect of asparagus juice and balsamic vinegar on the tenderness, physicochemical and structural attributes of beefsteak. *Journal of Food Science and Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04817-4>
- Moeini, R., Zamindar, N., & Aarabi Najvani, F. (2022). The effect of marination by using ginger extract and citric acid on physicochemical characteristics of camel meat. *Food Science and Technology International*, 108201322211365. <https://doi.org/10.1177/10820132221136590>
- Oshchypok, I. M. (2020). Expansion of raw materials base of enterprises for the development of new meat products. *Herald of Lviv University of Trade and Economics. Technical sciences*, (23), 97–101. <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2020-23-12>
- Peshuk, L. V., Kyrylov, Yu. Ye., Prykhodko, D. Yu., & Shtyk, I. I. (2024). Craft technologies for marinating semi-finished products from wild animal meat – the potential of the organic products market in Ukraine. *Journal of Chemistry and Technologies*, 32(3), 766–778. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v32i3.306054>
- Peshuk, L. V., Kyrylov, Yu. Ye., Shtyk, I. I., & Chernushenko, O. O. (2023). Technology of marinated game meat semi-finished products with an emphasis on sophistication and functionality. *Journal of Chemistry and Technologies*, 30(4), 639–651. <https://doi.org/10.15421/jchemtech.v30i4.268176>
- Rahman, S. M. E., Sharmeen, I., Pan, J., Kong, D., Xi, Q., Du, Q., Yang, Y., Wang, J., Oh, D.-H., & Han, R. (2023). Marination ingredients on meat quality and safety – a review. *Food Quality and Safety*. <https://doi.org/10.1093/fqsafe/fyad027>

- Rostamani, M., Baghaei, H., & Bolandi, M. (2021). Prediction of top round beef meat tenderness as a function of marinating time based on commonly evaluated parameters and regression equations. *Food Science & Nutrition*, 9(9), 5006–5015. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2454>
- Serdaroglu, M., Yüncü-Boyacı, Ö., & Karaman, M. (2024). Enhancing meat quality through marination: principle, ingredients and effects. *Food Science and Applied Biotechnology*, 7(2), 162. <https://doi.org/10.30721/fsab2024.v7.i2.369>
- St. Pierre, S. R., & Kuhl, E. (2024). Mimicking Mechanics: A Comparison of Meat and Meat Analogs. *Foods*, 13(21), 3495. <https://doi.org/10.3390/foods13213495>
- Shtyk, I. (2024). Game delicacies as a new trend in healthy eating. *Horizons of development of agricultural production and processing in Ukraine (to the day of memory of Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician Pelykh Viktor Grigorovich)* (pp. 315–318). KhDAEU
- Tyshchenko, V., Bozhko, N., & Pasichnyi, V. (2023). Wild boar meat as a prospective raw material in the restaurant and hotel industry. *Industry and craft for HoReCa in tourism: experience, problems, innovations* (pp. 53–55). NUHT
- Unal, K., Babaoğlu, A. S., & Karakaya, M. (2023). Improving the textural and microstructural quality of cow meat by black chokeberry, grape, and hawthorn vinegar-based marination. *Food Science & Nutrition*. <https://doi.org/10.1002/fsn3.3566>
- Wakita, Y., Takahashi, M., Tamiya, S., & Kobayashi, I. (2023). Effect of marination in lemon juice on beef tenderization and in vitro gastric digestibility. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. <https://doi.org/10.1002/jsfa.13006>
- International Organization for Standardization. (2020). Sensory analysis — Methodology — Texture profile (ISO Standard No. 11036:2020). ISO. <https://www.iso.org/standard/76668.html>
- Yang, J., Yang, X., Lin, H., Liang, R., Niu, L., Zhu, L., Luo, X., Hopkins, D. L., & Zhang, Y. (2022). Investigation of the relationship between microbiota dynamics and volatile changes in chilled beef steaks held under high-oxygen packaging enriched in carbon dioxide. *Meat Science*, 108861. <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2022.108861>
- Yar, M. K., Jaspal, M. H., Ali, S., Ijaz, M., Badar, I. H., Manzoor, A., & Hussain, J. (2022). Physicochemical, shear force and sensory characteristics of PUFA -tenderizing solution injected restructured blade and brisket beef steaks during aging. *International Journal of Food Science & Technology*. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16152>
- Żochowska-Kujawska, J., Kotowicz, M., Lachowicz, K., & Sobczak, M. (2017). Influence of marinades on shear force, structure and sensory properties of home-style jerky. *Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria*, 16(4), 413–420. <https://doi.org/10.17306/j.afs.0508>

Отримано 23.12.2025 р., прийнято до друку 21.01.2026 р.

УДК 639.2:338.43 (477.7)

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.110>

СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РИБНОГО ГОСПОДАРСТВА У СВІТІ ТА УКРАЇНІ

Максим Анатольович Власенко

здобувач кафедри технології м'ясних, рибних та морепродуктів

<https://orcid.org/0009-0008-2971-7909>

Наталія Володимирівна Голембовська

К.т.н., доцент кафедри технології м'ясних, рибних та морепродуктів

<https://orcid.org/0000-0001-8159-4020>

Іван Миколайович Баль

PhD доктор філософії, асистент кафедри аквакультури

<https://orcid.org/0009-0007-1608-5263>

Руслан Володимирович Кононенко

канд. вет. наук, доцент кафедри аквакультури

<https://orcid.org/0000-0002-7818-2583>

Сергій Олегович Лебський

PhD доктор філософії кафедри технології м'ясних, рибних та морепродуктів

<https://orcid.org/0000-0002-0062-3473>

*Національний університет біоресурсів і природокористування України,
3041, Україна, м. Київ, вул. Виставкова, 16*

Анотація. Рибне господарство є важливою складовою продовольчої безпеки та економічного розвитку як у світі, так і Україні. Тому характеристика його сучасного стану, проблем та перспектив розвитку є актуальним. Мета роботи полягала в аналізі динаміки стану рибного господарства на протязі останніх років у світі та Україні, визначення особливостей експорту та імпорту водних біоресурсів, ідентифікація проблем рибної галузі і перспективи її розвитку в Україні. Предметом дослідження – аналіз динаміки вилову водних біоресурсів у світі, Україні за останні роки, структура та об'єми експорту, імпорту, розгляд питань покращення рибної галузі в контексті великого потенціалу цієї галузі. Для проведення дослідження були використані матеріали ФАО/ВООЗ, наукові праці вітчизняних вчених, державні статистичні матеріали та методи порівняльного, графічного та статистичного аналізів. Аналіз статистичних матеріалів щодо динаміки вилову водних біоресурсів у продовж з 2020 – 2024 р. у світі визначив підвищення їх видобудку, однак в Україні значне зменшення в наслідок агресії рф. Високий рівень імпорту рибної продукції негативно впливає на галузь. Значна частина експорту рибної продукції України, та її різноманіття відображає її конкурентоспроможність. Проблеми рибної галузі в Україні пов'язані з залежністю від імпортової сировини та продукції, недостатнім впровадженням нових ресурсозберігаючих та екологічних технологій. Перспективи розвитку рибної галузі в Україні пов'язані з підвищенням вилову водних біоресурсів в морських економічних зонах та ефективності аквакультури, конкурентоспроможності вітчизняної рибопродукції, забезпечення сталого розвитку галузі та стратегічної стабільності виробництва. На фоні збільшення видобутку водних біоресурсів у світі та Україні внаслідок агресії рф відбувається його зниження та залежність від імпорту, що негативно впливає на сталий розвиток вітчизняної рибної галузі. Основні тенденції рибного господарства у світі та в Україні пов'язані з домінуванням видобутку водних біоресурсів в умовах аквакультури. Перспективи рибного господарства України пов'язані із підвищенням значення рибництва у забезпеченні продовольчої безпеки, створення сприятливий умов для наукових досліджень інноваційних технологій та їх впровадження у промисловість.

Ключові слова: рибна галузь, продовольча безпека, видобуток сировини, імпорт, експорт.

UDC 639.2:338.43 (477.7)

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.110>

STATE AND PROSPECTS OF FISHERIES IN THE WORLD AND IN UKRAINE

Maksym Vlasenko

applicant

<https://orcid.org/0009-0008-2971-7909>

Nataliia Holembovska

Candidate of Technical Sciences

<https://orcid.org/0000-0001-8159-4020>

Ivan Bal

PhD Doctor of Philosophy

<https://orcid.org/0009-0007-1608-5263>

Ruslan Kononenko

Candidate of Vet. Sciences,

<https://orcid.org/0000-0002-7818-2583>

Serhiy Lebskyi

PhD Doctor of Philosophy

<https://orcid.org/0000-0002-0062-3473>

*National University of Life Resources and Environmental Sciences of Ukraine,
3041, Ukraine, Kyiv, Vystavkova St., 16*

Abstract. Fisheries are an important component of food security and economic development worldwide and in Ukraine. Therefore, the description of its current state, problems, and prospects for development is relevant. The purpose of the work was to analyze the dynamics of the state of fisheries worldwide and in Ukraine over recent years, determine the features of exports and imports of aquatic bioresources, and identify the problems of the fisheries industry and the prospects for its development in Ukraine. The object of the study is fisheries worldwide and in Ukraine. The subject of the study is the analysis of the dynamics of catch of aquatic bioresources worldwide and in Ukraine in recent years, the structure and volumes of exports and imports, and consideration of issues for improving the fisheries industry in the context of the great potential of these industries. The study used FAO/WHO materials, scientific works of domestic scientists, state statistical materials, and methods of comparative, graphical, and statistical analysis. Analysis of statistical data on the dynamics of catch of aquatic bioresources from 2020 to 2024 worldwide showed an increase in yield, but in Ukraine, a significant decrease due to the aggression of the Russian Federation. The high level of imports of fish products negatively affects the industry. A significant part of Ukraine's fish product exports, and their diversity, reflect its competitiveness. The problems of the Ukrainian fishing industry are associated with dependence on imported raw materials and products, as well as with insufficient implementation of new resource-saving and environmentally friendly technologies. Prospects for the development of the fishing industry in Ukraine include increasing the catch of aquatic bioresources in marine economic zones, improving the efficiency of aquaculture, enhancing the competitiveness of domestic fish products, ensuring the sustainable development of the industry, and ensuring the strategic stability of production. Against the backdrop of increasing extraction of aquatic bioresources worldwide, Ukraine, as a result of the Russian Federation's aggression, is experiencing a decline and increased dependence on imports, which negatively affects the sustainable development of the domestic fishing industry. The main trends in the global and Ukrainian fisheries industries are the dominance of aquatic bioresource extraction in aquaculture. The prospects for the fisheries industry in Ukraine are associated with the increasing importance of fisheries in ensuring food security, the creation of favorable conditions for scientific research on innovative technologies, and their implementation in the industry.

Keywords: fisheries industry, food security, raw material extraction, import, export.

ВСТУП. Рибна галузь має важливе значення у забезпеченні продовольчої та економічної безпеки як в Україні, так і у світі (Androschuk & Holembovska, 2025; FAO, 2025; FAO Report, 2024; Yemtsev et al., 2023). Окрім виробництва харчової продукції, значна частка рибної сировини використовується у фармацевтичній, мікробіологічній та косметичній промисловостях, а продукція з нехарчової сировини — у сільському господарстві та інших галузях економіки (Bal-Prylipko et al., 2024; Bal et al., 2023; Dorozhko, 2025). Водночас сучасний стан рибного господарства характеризується низкою системних проблем, зокрема скороченням обсягів вилову, виснаженням природних водних біоресурсів, зростанням антропогенного навантаження на водні екосистеми, недостатнім рівнем розвитку аквакультури, а також технологічною відсталістю переробної інфраструктури. Для України додатковими викликами є залежність внутрішнього ринку від імпоротної рибної продукції, зниження інвестиційної привабливості галузі та обмежені можливості впровадження інноваційних технологій переробки рибної сировини (Catch of aquatic..., 2024; Kiporenko, Bezchasnyuk, 2018; Koval et al., 2023).

У цих умовах особливої актуальності набуває комплексний аналіз сучасного стану рибного господарства, оцінка світових тенденцій його розвитку та визначення перспективних напрямів модернізації галузі з урахуванням принципів сталого розвитку, ресурсозбереження та підвищення біологічної цінності рибної продукції. Це створює наукове підґрунтя для формування ефективної державної політики та впровадження інноваційних технологічних рішень у рибній галузі.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. Дослідженням стану рибного господарства у світі присвячена щорічна інформація FAO (FAO Report., 2024; FAO, 2025), в Україні - значна кількість публікацій вітчизняних науковців (Melnychenko & Bogadorova, 2023; Melnychenko, 2024; State Agency for Land Reclamation and Fisheries of Ukraine, 2023; Xu & Menchynska, 2025) та публічні звіти Державного агенства меліорації і рибного господарства (Agro Times, 2024; Public report of the Head..., 2023; 2024; 2025) та статистичні дані (State Statistics Service, 2025). Аналіз інформації FAO показав тенденцію збільшення добутку біоресурсів у морському та прісноводному промислі та підвищення значення аквакультури у забезпеченні рибної галузі сировиною (Sinonok, 2019). Визначено, що на фоні постійного підвищення видобутку рибної сировини у світі (Androschuk & Holembovska, 2024; Yemtsev et al., 2023), в Україні в наслідок агресії РФ відбувається суттєве зменшення цього показника в умовах рибальства та аквакультури (Androschuk & Holembovska, 2024; Sinonok, 2019; Yemtsev et al., 2023). Тенденція високого обсягу видобутку біоресурсів у внутрішніх водоймах зберігається на протязі останніх років (Public report of the Head..., 2023; 2024; 2025).

У виданні FAO «Стан світового рибальства та аквакультури» (SOFIA) за 2024 рік зазначається, що світове виробництво риби та аквакультури у 2022 році зросло до 223,2 мільйонів тонн, що на 4,4 відсотки більше, ніж у 2020 році (FAO, 2025). Виробництво склало 185,4 мільйони тонн водних тварин та 37,8 мільйони тонн водоростей.

FAO визначає значні досягнення у видобутку водних біоресурсів, однак констатує необхідність подальшої трансформації та адаптивних дій для посилення ефективності, стійкості, інклюзивності у вирішенні проблем продовольчої безпеки, подолання бідності та сталому управлінню. Ось чому FAO виступає за «блакитну трансформацію» щоб задовольняти загальні потреби людини у кращому виробництві, харчуванні та житті.

Аналіз сучасного стану, динамічних змін і напрямів розвитку рибної галузі України виявив комплекс системних проблем, розв'язання яких потребує невідкладного впровадження ефективних управлінських і організаційних заходів, особливо в умовах воєнних викликів.

Країни світу та Україна мають унікальні природні ресурси у морях, океанах, внутрішніх водоймах для ефективного рибного господарства, яке суттєво забезпечує продовольчу і економічну безпеку. Тому дослідження стану та можливих тенденцій його розвитку є актуальним, що дозволить визначити проблеми галузі та запропонувати шляхи їх подолання.

МЕТА ДОСЛІДЖЕНЬ – провести аналіз сучасного стану рибного господарства у світі та в Україні, визначити основні тенденції видобутку сировини, особливості імпорту та

експорту водних біоресурсів, ідентифікувати основні проблеми, вирішення яких буде сприяти покращенню роботи цієї галузі в Україні.

Об'єктом дослідження є рибне господарство у світі та в Україні.

Предмет дослідження полягає у проведенні аналізу стану видобутку водних біоресурсів у світі та в Україні, стану рибної галузі в Україні, визначення проблем і шляхів поліпшення роботи рибної галузі в Україні.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Для проведення дослідження були використані матеріали ФАО/ВООЗ, наукові праці вітчизняних вчених, державні статистичні матеріали щодо добування водних ресурсів, експорту та імпорту Україною рибопродукції за період з 2022 по 2024 роки. Використано методи порівняльного, графічного та статистичного аналізів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Системи виробництва харчової продукції з водних біоресурсів відрізняються широким розноманіттям і забезпечують цілий ряд екологічних, економічних і соціальних вигод. Вони отримують більш широке знання в світі і в багатьох країнах виступають у якості джерел поживних речовин і екосистемних послуг, які вносять вклад у формування здорового раціону і збереження водного біорізноманіття. На сучасному етапі їх значущість як джерела перспективних рішень і нових можливостей, а також як чинника зміцнення глобальної продовольчої та харчової безпеки, поліпшення умов існування населення і збереження довкілля, є надзвичайно високою (Androschuk & Holembovska, 2024; Yemtsev et al., 2023; Bal-Prylipko et al., 2024; Menchynska & Lebska, 2017).

З метою вдосконалення системи виробництва продовольства з водних біоресурсів виникла необхідність прискорення трансформаційних процесів, спрямованих на забезпечення стійкості та справедливості у глобальному секторі рибальства й аквакультури. У 2021 році ФАО прийняла концепцію «Блакитна трансформація» у якості пріоритетного напрямку розвитку для забезпечення максимально повного використання водних біоресурсів для харчових цілей, для поліпшення продовольчої безпеки, якості харчування, ліквідації голоду та сприяння стійкого розвитку на період до 2030 року.

Стан рибного господарства у світі. У відповідності до статистичних матеріалів, опублікованих Продовольчою і сільськогосподарською організацією ООН ФАО світовий видобуток водних біоресурсів у 2023 році досяг 228 млн. тонн, включаючи 189 млн. тонн (83%) тварин з аквакультури і 39 млн. тонн (17%) водоростей (рис. 1) (Androschuk & Holembovska, 2024; Yemtsev et al., 2023; Bal-Prylipko et al., 2024; Menchynska & Lebska, 2017).

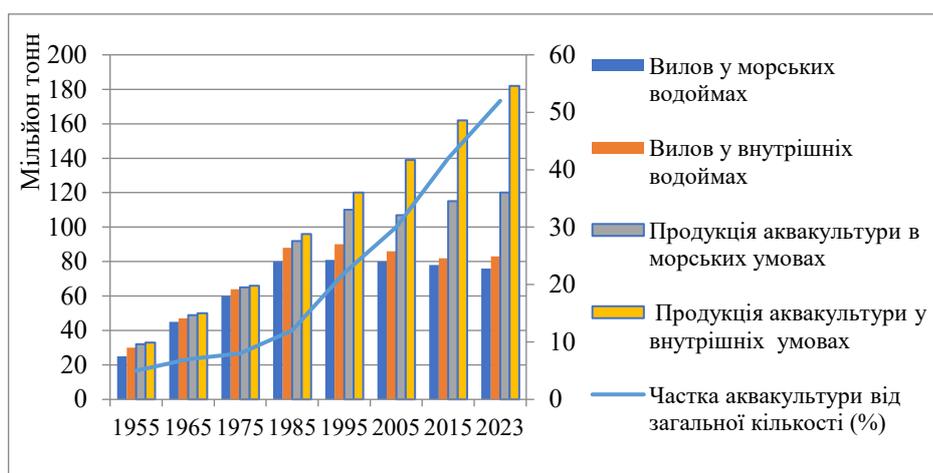


Рис. 1. Динаміка загального видобутку водних біоресурсів у світі

Джерело: авторська розробка

Ці дані за 2023 рік вищі у порівнянні з 2015 роком на 2,2%, та обумовлені головним чином розвитком аквакультури в Азії. Лідером у світовій продукції аквакультури є Китай, аквакультура якого забезпечує 72% світової аквакультури. Америка займає друге місце (11%),

Європа – третє (9%), Африка – четверте (7%) і останнє – Океанія (1%) (рис. 2) (Aquaculture production by country, 2023).

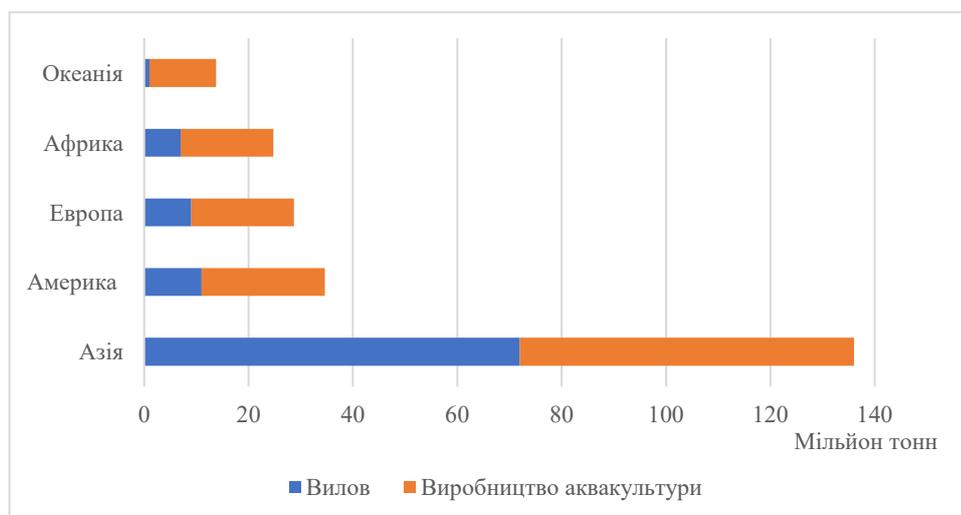


Рис. 2. Стан аквакультури у різних континентах світу у 2023 році

Джерело: авторська розробка

Лідером світової продукції аквакультури є Азія, аквакультура якої забезпечує 72% світової аквакультури, що складає 64,02 млн. тонн. Америка займає друге місце (11% - 23,64 млн. тонн), Європа – третє (9% - 19,70 млн. тонн), Африка – четверте (7% - 17,73 млн. тонн) і останнє – Океанія (1% - 12,80 млн. тонн). Китай, Індія і Індонезія є країнами, в яких більш ніж в інших країнах світу розвинена аквакультура і складає 73% від загальної кількості водних біоресурсів (FAO, 2025; Vdovenko, 2016; Dmytryshyn, 2019; Ustenko et al., 2015).

У структурі загального видобутку водних біоресурсів домінують морські види риб, частка яких становить 68 млн тонн (35,97%), тоді як на прісноводні види припадає 64 млн тонн (33,86%). Частка молюсків складає 26 млн тонн (13,75%), ракоподібних — 20 млн тонн (10,58%), прохідних видів — 8 млн тонн (4,23%), а інші гідробіонти формують близько 3 млн тонн (1,58%) загального обсягу (FAO, 2025; Corman, 2020).

У 2023 році доходи від реалізації продукції аквакультури знизилися на 3,9% порівняно з 2022 роком. Основними країнами-імпортерами рибної продукції залишалися Сполучені Штати Америки, Китай та Японія, на частку яких припадало близько 34% світового імпорту. Провідні позиції серед експортерів рибної продукції посідали Китай, Норвегія та В'єтнам, сумарна частка яких становила приблизно 25% загальносвітового експорту (FAO, 2025; Kiroenko & Bezchasnyuk, 2018).

Середнє світове споживання продукції з водних біоресурсів у розрахунку на одну особу досягло 20,5 кг на рік. У рибогосподарському секторі зайнято близько 63 млн осіб, з яких переважна більшість працює в країнах Азії (71%), тоді як частка Африки становить 19%, а Америки — 8% (Maevskaia, 2011).

Перспективи подальшого розвитку світової рибної галузі пов'язані з посиленням ролі аквакультури у загальному обсязі видобутку водних біоресурсів, удосконаленням технічних і технологічних засобів їх вилову та переробки з метою раціонального використання сировини, а також із розробленням і впровадженням інноваційних виробничих рішень.

Стан та перспективи розвитку рибної галузі в Україні.

Україна має високий потенціал для розвитку рибної галузі, що обумовлено наявністю великих запасів поверхневих вод із загальною площею 24,20 тис. км² та з виходом до Чорного та Азовського морів. Однак, агресія з РФ привела до суттєвого зниження вилучення водних біоресурсів в Україні. В таблиці 1 наведена динаміка їх видобутку на протязі останніх 5 років з 2020 по 2024 (Corman et al., 2021; Korman et al., 2021; Public report of the Head..., 2023; 2024; 2025).

Таблиця 1. Динаміка вилову водних біоресурсів в Україні на протязі останніх 5 років, тис. тонн (Agro Times, 2024; FAO, 2025; Sinenok, 2019)

Роки	2020	2021	2022	2023	2024
Виллов у морській економічній зоні України	12,04	9,97	12,49	16,73	26,30
Аквакультура та внутрішні водойми	64,47	59,90	31,59	20,50	18,62
Всього	76,51	69,87	44,08	37,23	44,92

Аналіз цих даних свідчить про суттєве зниження загального обсягу видобутку водних біоресурсів з початку агресії РФ з 69,87 тис. тонн у 2021 році до 31,59 тис. тонн у 2022 році, тобто більш ніж у двічі. Слід відмітити, що в морській економічній зоні України у 2022 році видобуток водних біологічних ресурсів був на рівні 2020 року і починаючи з 2023 року збільшився з 12,49 до 16,73 тис. тонн і у 2024 році - 26,30 тис. тонн завдяки вилову антарктичного крилю та іклячів (Agro Times, 2024; Public report of the Head..., 2023; 2024; 2025).

У 2023 році обсяги вилову водних біоресурсів становили 35,5–38,2 тис. тонн, що на 12,3 % перевищує показники 2022 року (Melnychenko & Bogadorova, 2023; Public report of the Head..., 2022). Загальний обсяг виробництва продукції з внутрішніх водойм і аквакультури у 2023 році досяг 15,3 тис. тонн, з яких 14,9 тис. тонн припадало на внутрішні водні об'єкти, що на 5,1 % більше порівняно з попереднім роком, тоді як обсяги продукції аквакультури склали 8,5 тис. тонн, демонструючи приріст на 1,5 %.

У 2024 році сумарний обсяг видобутку водних біоресурсів зріс до 44,90 тис. тонн, що на 15 % перевищує рівень 2023 року. При цьому вилов у морській економічній зоні України збільшився на 36,4 %. Водночас у секторі аквакультури зафіксовано зниження обсягів виробництва водних біоресурсів на 10 % порівняно з 2023 роком та на 31 % відносно довоєнного періоду, тобто до початку збройної агресії російської федерації (Xu & Menchynska, 2025).

Промисловий вилов у Азовському морі не здійснювався, тоді як інформація щодо обсягів вилову в Чорному морі та Антарктичній зоні Атлантичного океану відсутня у відкритих джерелах. Винятком є незначна акваторія Чорного моря в межах Миколаївської області, де обмежено проводився прибережний лов. Загальні збитки рибного господарства України, завдані внаслідок руйнування Каховського водосховища після підриву греблі гідроелектростанції військами російської федерації, перевищили 9,8 млрд грн (Public report..., 2025; Kalina & Poyda-Nosyk, 2022; Korman, 2020).

Унаслідок воєнних дій та знищення греблі Каховської ГЕС критичної загрози існуванню зазнала рибна галузь цього регіону (Buzevych & Yu, 2023; Chernyshuk, 2024). Так зруйновано два державні рибовідтворювальні підприємства: Херсонський виробничо-експериментальний завод з відтворення молоді частикових видів риб, який щорічно забезпечував вселення близько 13,4 млн екземплярів цінних видів, а також Дніпровський осетровий виробничо-експериментальний рибовідтворювальний завод імені академіка С. Т. Артющика, потужності якого становили 2,6 млн екземплярів молоді цінних видів риб, зокрема 1,6 млн — осетрових. Зазначені події вже негативно позначилися на процесах зариблення внутрішніх водойм України та на забезпеченні аквакультури посадковим матеріалом для штучного відтворення водних біоресурсів (Kovalchuk, 2025; Sydorenko, 2024; Public report..., 2025; Koval et al., 2023).

Аквакультура є одним із найбільш динамічних секторів тваринництва та набуває дедалі більшого значення у забезпеченні глобальної продовольчої безпеки (Nahorniuk et al., 2025; Shukh et al. 2025; Starchak, 2023; Trofymchuk et al., 2021; Voznyuk & Besh, 2025). Вона фактично стала альтернативою традиційному промислому рибальству, яке через виснаження природних водних ресурсів уже не спроможне повністю задовольнити зростаючий попит на рибну продукцію. На сьогодні понад 50 % риби та рибопродуктів, що споживаються у світі, виробляються в умовах акваферм (Shekk, 2025).

В Україні в межах реформування рибогосподарської галузі особлива увага приділяється формуванню сприятливих умов для розвитку національної аквакультури (Vdovenko et al.,

2019; Yue & Shen, 2022). Ключовими напрямками реформи визначено вдосконалення державного регулювання у сфері аквакультури та нарощування обсягів виробництва відповідної продукції. Так, у 2024 році діяльність у сфері аквакультури здійснювали 3 163 суб'єкти господарювання, з яких 1 906 підприємств (60 % від загальної кількості) подали «Звіт про аквакультуру за 2024 рік». Згідно зі звітними даними, загальна чисельність зайнятих працівників (постійна, сезонна, часткова та тимчасова зайнятість) становила 5 395 осіб, у тому числі 1 182 жінки (Poplavska, & Gerasymchuk, 2020; Bal et al., 2023; Prysiazhniuk et al., 2025).

У 2024 році сукупний обсяг виробництва продукції аквакультури збільшився майже на 22 % і становив 18 621 т. Основна частка товарної продукції була отримана у ставкових господарствах — 18 009 тонн. При цьому в резервуарах і басейнах було отримано 315 т продукції, в установках замкнутого водопостачання — 181 т, а в садкових господарствах — 116 т. Водночас реалізація товарної продукції аквакультури у 2024 році склала 9 175 тонн (State Statistics Service..., 2025).

Провідними об'єктами аквакультури традиційно залишаються коропові види риб, зокрема звичайний короп (8 896 тонн) та рослиноїдні види: білий товстолоб (1 576 тонн), строкатий товстолоб (1 480 тонн), їх гібриди (1 378 тонн) і білий амур (637 тонн). Також розглядається можливість вирощування інших гідробіонтів (Voznyuk & Besh, 2025). Окрім коропових, у господарствах України вирощували судака (1 854 тонни), райдужну форель (341 тонну), шуку (211 тонн), кларієвого сома (104 тонни), американського гольця (38 тонн), стерлядь (27 тонн), сибірського осетра (16 тонн) та інші види. У 2024 році також було вироблено 4 280,5 кг харчової ікри, у тому числі 2 480,2 кг ікри осетрових та 1 800,3 кг ікри лососевих видів риб (Public report..., 2025; Dorozko, 2025; Prylipko, 2023).

Лідуючі позиції за обсягами виробництва продукції аквакультури у 2024 році посідали Черкаська (4 400 тонн), Львівська (1 543 тонни), Хмельницька (1 517 тонн), Кіровоградська (1 456 тонн) та Сумська (1 403 тонни) області.

Крім того, у зонах діяльності територіальних органів Держрибагентства функціонують спеціальні товарні рибні господарства (СТРГ), які поєднують елементи аквакультури та промислового рибальства. Станом на 01.01.2024 в Україні діяло 220 СТРГ із загальною площею водного дзеркала 138,79 тис. га. У 2024 році вилов у режимі СТРГ здійснювали 40 суб'єктів господарювання, а загальний обсяг добутих водних біоресурсів склав 3 900 тонн, що відповідає 24 % виконання планових показників (Public report..., 2025).

Україна є учасником міжнародної організації CCAMLR (Комісії зі збереження морських живих ресурсів Антарктики), у зоні відповідальності якої здійснюється промисловий вилов риби та інших водних біоресурсів. У 2024 році суднами під Державним прапором України було добуто 19 980 тонн цінних антарктичних водних біоресурсів, зокрема 19 075 тонн антарктичного криля та 905 тонн іклячів, що є найвищим показником океанічного вилову українського флоту за останні три роки (Public report..., 2025).

Відтворення водних біоресурсів

Одним із ключових чинників збереження сталих запасів риби у водних екосистемах є штучне відтворення цінних видів іхтіофауни (Atamanchuk & Tyahun, 2023; Datsyuk, 2020; Dmytryshyn, 2019; Fedorenko et al., 2020; Kalina & Poyda-Nosyk, 2022). У 2024 році заходи із зариблення водойм України реалізовувалися за рахунок фінансування з державного та місцевих бюджетів, благодійних і компенсаційних надходжень, а також за участю громадських організацій і суб'єктів господарювання, що здійснюють діяльність у режимі спеціальних товарних рибних господарств. Упродовж року до рибогосподарських водних об'єктів країни було вселено понад 10,8 млн екземплярів цінних видів риб, серед яких харіус європейський, лосось дунайський, форель струмкова, короп, товстолоб, білий амур та інші (Prysiazhniuk et al., 2025).

Реалізація державної програми зариблення забезпечила поповнення водойм Карпатського регіону більш ніж 283 тис. екземплярів лососевих видів риб, що на 11 % перевищує рівень попереднього року. Уперше за період незалежності України у водойми Закарпатської області було вселено 8 783 екземпляри мальків харіуса європейського, занесеного до Червоної книги України, вирощеного на рибоводному форелевому заводі

«Лопушно» Держрибагентства. Крім того, у водні об'єкти басейну річки Тиса в межах Чернівецької та Закарпатської областей випущено 21 400 екземплярів червонокнижного лосося дунайського. Водночас водойми Львівської, Івано-Франківської, Закарпатської областей і Буковини поповнилися 253 тис. екземплярів мальків форелі струмкової (Prysiazhniuk et al., 2025; Public report..., 2025; Atamanchuk & Tyahun, 2023; Bal, et al., 2023).

Паралельно у 2024 році розпочато масштабну кампанію зариблення за рахунок коштів місцевих бюджетів, сформованих із надходжень від спеціального використання водних біоресурсів, отриманих у результаті проведення прозорих аукціонів на право промислового вилову риби. Так, у Черкаській області до Кременчуцького водосховища випущено близько 358 тис. екземплярів товстолоба; у Полтавській області рибні запаси Кременчуцького та Кам'янського водосховищ поповнилися 54 820 екземплярами товстолоба, а річки Ворскли — 7 830 екземплярами цього виду. У Кіровоградській області до Кременчуцького й Кам'янського водосховищ вселено 31 834 екземпляри коропа та товстолоба. Загалом упродовж року за кошти місцевих бюджетів у водойми України було випущено 485 тис. екземплярів цінних видів риб, що у 17 разів перевищує відповідний показник 2023 року (Public report..., 2025).

Окрім цього, у режимі спеціальних товарних рибних господарств у 2024 році заходи з зариблення здійснювали 28 суб'єктів господарювання, якими вселено 9,9 млн екземплярів риб різновікових стадій розвитку, з яких 8,2 млн екземплярів було випущено у водні об'єкти Одеської області.

За участю громадських організацій, а також за рахунок компенсаційних коштів і благодійних внесків у цей період було вселено 187 тис. екземплярів водних біоресурсів, що вдвічі перевищує показник попереднього року. Зариблення проводилося у Дніпропетровській, Закарпатській, Львівській, Київській та Полтавській областях. Регулярне поповнення популяцій водних біоресурсів є стратегічно важливим для розвитку рибного господарства, оскільки забезпечує довгострокову продовольчу безпеку та сприяє покращенню екологічного стану водойм.

Ринок риби, рибної продукції та інших водних біоресурсів.

На протязі багатьох років Україна є імпортозалежною країною на ринку риби та рибної продукції, що зумовлює від'ємне сальдо торговельного балансу (Androschuk & Golembovska, 2025; Menchynnska & Lebska, 2017; Poplavska & Gerasymchuk, 2020). У загальній структурі зовнішньої торгівлі сільськогосподарською продукцією у 2024 році питома вага імпорту риби, рибної продукції та інших водних біоресурсів становила 14,2 %, тоді як експорт – лише 0,23 %. За даними митних органів, у 2024 році Україною експортовано 11 074 тонни рибної продукції на суму 56,3 млн дол. США, що на 68,6 % більше за кількістю та на 80,3 % за вартістю порівняно з 2023 роком (Prysiazhniuk et al, 2025).

Основними позиціями експорту у 2024 році були:

- філе рибне та інше м'ясо риб (включно з фаршем), свіже, охолоджене або морожене (28,7 %), зокрема судак, лосось, тріска, форель;
- готова або консервована риба та ікра (17,9 %), включно з продукцією з сардини, сардинели, кільки, шпроту, ікри інших риб, оселедця та продуктів із сурімі (крабові палички);
- молюски (10,7 %), зокрема равлики, крім морських.

Найбільші обсяги експорту рибної продукції у 2024 році припадали на Молдову, Німеччину, Литву, Польщу та Данію (Prysiazhniuk et al., 2025).

Імпорт водних біоресурсів до України у 2024 році склав 356,7 тис. тонн на суму 1 083 млн дол. США, що на 8,4 % більше за обсягами та на 16,2 % – у вартісному вираженні порівняно з 2023 роком. Приблизно 80 % імпорту становлять види риб, доступ до яких Україна не має, а які добуваються виключно в відкритому морі або в морських економічних зонах інших держав. Переважно до країни імпортують морожену рибу або її філе: оселедець, мерлузу (хек), скумбрію, сардини, мойву, путасу, атлантичний лосось. Така продукція здебільшого переробляється на українських рибних підприємствах, особливо у сегменті виробництва рибного філе, консервів, пресервів, соління, копчення та заморожених напівфабрикатів, після чого частково експортується до інших країн.

Основними групами імпортованої продукції у 2024 році були:

- морожена риба (61,9 %), зокрема оселедець, мерлуза (хек), скумбрія;
- філе рибне та інше м'ясо риб, свіже, охолоджене або заморожене (11,4 %), зокрема оселедець, сурімі, лосось;

- свіжа або охолоджена риба (8 %), зокрема форель та лосось (Prysiashniuk et al., 2025).

Найбільшими постачальниками рибної продукції до України залишаються Норвегія, Ісландія, США, Естонія та Латвія.

Середні споживчі ціни на рибу та рибну продукцію у 2024 році, за даними Держстату, зросли в середньому на 14 %. Найбільше підвищення цін спостерігалось на оселедець (+22,1 %), кільку солону (+20,8 %) та копчену скумбрію (+18,7 %) (State Statistics Service..., 2025).

Перспективи рибної галузі України.

У 2025 році Україна досягла суттєвого прогресу у реформуванні рибного господарства та водного промислу. Основні зміни були спрямовані на гармонізацію національного законодавства з нормами ЄС, впровадження прозорих ринкових механізмів та цифровізацію галузі, що зробило правила діяльності більш зрозумілими для бізнесу та посилило державне управління водними біоресурсами (Prysiashniuk et al., 2025).

Важливим досягненням стало набуття Україною членства у Генеральній комісії з рибальства у Середземномор'ї, що відкриває можливість брати участь у формуванні міжнародної політики щодо управління рибальством, розвитку аквакультури та охорони морських біоресурсів, зокрема у Чорноморському регіоні (Agreement for the ..., 2025).

У 2025 році ухвалено закон про забезпечення простежуваності водних біоресурсів, який запроваджує європейські підходи до контролю походження рибної продукції та посилює боротьбу з незаконним рибальством, що підвищує довіру до української продукції на внутрішньому та зовнішньому ринках. Крім того, оновлено процедури спеціального використання водних біоресурсів та запроваджено електронне декларування права на промисловий та дослідний вилов риби, що підвищило прозорість і зменшило адміністративне навантаження на суб'єктів господарювання (Dorozhko, 2025).

Доступ до водних біоресурсів здійснювався через відкриті аукціони в системі «Прозорро», що забезпечило конкурентний та прозорий розподіл ресурсів і додаткові надходження до державного бюджету в сумі 52,3 млн грн.

Одночасно держава посилила заходи щодо відтворення та збереження водних біоресурсів. У 2025 році до водойм вселено близько 10,9 млн екземплярів риби. Уперше зариблення проводилося за новим механізмом: кошти, отримані від продажу прав на промисловий вилов риби, спрямовувалися на відновлення біорізноманіття водних угідь, що дозволило додатково вселити близько 1,1 млн екземплярів водних біоресурсів на суму 11,1 млн грн (Prysiashniuk et al., 2025; Kovalchuk, 2025).

Державна програма розвитку рибної галузі на період до 2030 року передбачає комплексну трансформацію сектору з урахуванням сучасних економічних, екологічних та соціальних викликів. Програма створює передумови для розвитку національного виробництва рибопродукції, зменшення імпортозалежності, зміцнення продовольчої безпеки, підвищення конкурентоспроможності та економічної незалежності (On approval of ..., 2023; Liudmyla & Didkovszka, 2025).

Невід'ємною складовою програми є орієнтація на екологічно сталий розвиток та виробництво рибної продукції. Забезпечення балансу між зростанням національного виробництва та охороною біорізноманіття водних біоресурсів визначає основу довгострокового розвитку галузі. Урахування глобальних тенденцій перенасичення ринку імпортованою рибною продукцією стимулює модернізацію інфраструктури та розвиток інтеграційних процесів на вертикальному й горизонтальному рівнях рибного господарства.

Реалізація цієї програми має критичне значення для продовольчої незалежності України, підвищення стійкості до зовнішніх економічних криз та мінімізації негативного впливу глобальних економічних тенденцій на сектор рибопродукції. Водночас вона сприятиме ефективному використанню водних біоресурсів та підтримці сталого розвитку галузі в умовах постійних змін кліматичного та економічного середовища.

Обговорення. Отримані результати дослідження свідчать про наявність чітко виражених контрастних тенденцій розвитку рибного господарства у світі та в Україні. Світова рибна галузь упродовж останніх років демонструє стабільне зростання обсягів виробництва водних біоресурсів, що відбувається переважно за рахунок інтенсивного розвитку аквакультури. За даними ФАО, саме аквакультура стала ключовим чинником забезпечення зростаючого попиту на рибну продукцію та зменшення навантаження на природні популяції гідробіонтів (FAO, 2025). Подібні висновки наводять і вітчизняні дослідники, які відзначають домінування вирощування риби над традиційним промисловим виловом у структурі світового рибного господарства (Androschuk & Holembovska, 2024; Yemtsev et al., 2023).

Результати дослідження підтверджують, що глобальний розвиток рибної галузі відбувається в руслі концепції сталого використання водних біоресурсів, що передбачає впровадження ресурсозберігаючих технологій, удосконалення систем управління та підвищення ефективності переробки сировини (Sinенok, 2019). Це узгоджується з підходами ФАО щодо реалізації концепції «блакитної трансформації», яка розглядає аквакультуру як стратегічний інструмент забезпечення продовольчої безпеки, зменшення бідності та збереження біорізноманіття (FAO, 2025).

На відміну від світових тенденцій, ситуація в Україні характеризується суттєвим скороченням обсягів видобутку водних біоресурсів, особливо починаючи з 2022 року, що безпосередньо пов'язано з наслідками збройної агресії російської федерації. Отримані дані узгоджуються з результатами досліджень Melnychenko & Bogadorova (2023) та офіційними звітами Державного агентства меліорації та рибного господарства України, які фіксують різке зниження вилову у внутрішніх водоймах і в секторі аквакультури (Catch of aquatic..., 2024; State Statistics Service..., 2025).

Особливо негативного впливу зазнала система відтворення водних біоресурсів, що пов'язано з руйнуванням гідротехнічних споруд, втратою рибовідтворювальних заводів та погіршенням екологічного стану водойм, зокрема після знищення Каховської ГЕС. Ці чинники формують довгострокові ризики для відновлення іхтіофауни та сталого розвитку аквакультури в Україні, що також відзначається в роботі Starchak (2023).

Водночас результати дослідження засвідчують наявність окремих позитивних тенденцій, зокрема зростання обсягів вилову у морській економічній зоні України та активізацію океанічного промислу. Це підтверджують висновки Androschuk & Holembovska (2024) щодо можливості часткової компенсації внутрішніх втрат за рахунок участі України в міжнародних програмах промислового рибальства. Однак такий підхід не може розглядатися як універсальне рішення без системного розвитку національної аквакультури та відновлення внутрішніх водойм.

Аналіз зовнішньоторговельних показників виявив високу імпортозалежність України на ринку риби та рибної продукції, що узгоджується з даними митної статистики та аналітичних оглядів (Catch of aquatic..., 2024; Melnychenko, 2024). Від'ємне сальдо торговельного балансу, зростання споживчих цін і домінування імпорту мороженої риби свідчать про структурні проблеми галузі та недостатній рівень самозабезпечення. Разом із тим, зростання експорту продукції з більшою доданою вартістю підтверджує конкурентоспроможність окремих сегментів вітчизняної рибопереробної промисловості, що відповідає загальноєвропейським тенденціям розвитку галузі (FAO, 2025).

Важливим результатом дослідження є підтвердження зростаючої ролі державного регулювання та інституційних реформ у стабілізації рибної галузі України. Гармонізація законодавства з нормами ЄС, впровадження електронних сервісів, аукціонного доступу до водних біоресурсів та механізмів простежуваності продукції створюють передумови для підвищення прозорості та інвестиційної привабливості сектору (Yue & Shen, 2022; Liudmyla & Didkovszka, 2025). Водночас ефективність цих заходів значною мірою залежить від наукового супроводу, розвитку інноваційних технологій та кадрового забезпечення галузі.

Подальший аналіз результатів дослідження свідчить, що ключовим викликом для розвитку рибного господарства України залишається недостатній рівень технологічної модернізації та обмеженість інвестиційних ресурсів. У порівнянні з провідними країнами

світу, вітчизняні підприємства аквакультури та рибопереробки здебільшого використовують застаріле обладнання, що негативно впливає на ефективність виробництва, рівень втрат сировини та якість готової продукції (Sinенok, 2019; Vdovenko et al., 2019; Uninets, 2022). Водночас міжнародний досвід свідчить, що впровадження інноваційних технологій, зокрема рециркуляційних аквакультурних систем (RAS), автоматизованого контролю параметрів водного середовища та енергоощадних рішень, дозволяє суттєво підвищити продуктивність і екологічну безпечність виробництва (Dorozhko, 2025; Yue & Shen, 2022).

Окремої уваги заслуговує питання глибини переробки водних біоресурсів та диверсифікації асортименту рибної продукції. Отримані результати підтверджують, що орієнтація на виробництво продуктів з високою доданою вартістю, зокрема напівфабрикатів, кулінарних виробів і функціональних харчових продуктів, є важливою умовою підвищення конкурентоспроможності галузі як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках (Androschuk & Hоlembovska, 2024; Melnychenko, 2024). Такий підхід відповідає сучасним споживчим тенденціям і дозволяє частково компенсувати обмежені обсяги власної сировинної бази.

Крім того, результати дослідження підкреслюють необхідність посилення науково-освітньої складової розвитку рибного господарства. Підготовка кваліфікованих кадрів, розвиток прикладних досліджень у сфері селекції, годівлі та ветеринарного забезпечення аквакультури є визначальними чинниками сталого функціонування галузі в довгостроковій перспективі (Starchak, 2023; Liudmyla & Didkovszka, 2025). Таким чином, інтеграція наукових розробок, державної підтримки та інноваційних технологій формує основу для поступового відновлення та стратегічного розвитку рибного господарства України в умовах післявоєнної трансформації економіки.

Порівняння світових і національних тенденцій дозволяє дійти висновку, що подальший розвиток рибного господарства України має ґрунтуватися на інтеграції принципів сталого розвитку, інноваційної аквакультури та раціонального використання водних біоресурсів. У цьому контексті рибна галузь здатна стати одним із драйверів післявоєнного відновлення економіки, зміцнення продовольчої безпеки та підвищення експортного потенціалу держави.

ВИСНОВКИ. Основні тенденції стану та перспектив рибної галузі у світі пов'язані з постійним збільшенням видобутку водних біологічних ресурсів і домінуванням у загальній кількості гідробіонтів масової частки продукції аквакультури. Перспективи світової рибної галузі обумовлені зі збільшенням ролі аквакультури, технічним і технологічним прогресом у переробки сировини для харчових цілей для забезпечення економічних, екологічних і соціальних питань.

Україна має високий потенціал водних ресурсів для розвитку рибної галузі, однак з початку агресії з РФ з 2022 року визначено суттєво зменшення видобутку сировини і випуску харчової продукції. Високий рівень імпортової сировини та продукції дозволяє частково забезпечити населення України у рибної продукції. Однак, експорт продукції і сировини свідчить про конкурентоспроможність України у цьому секторі світової економіки.

Реалізація Державної програми України по стратегії та розвитку рибної галузі на період до 2030 року дозволить вирішити ланку проблем з підвищенням видобутку водних біологічних ресурсів як у морській економічній зоні, так і у внутрішніх водоймах. Безумовно, буде створено сприятливі умови для національного виробництва рибопродукції, зменшення залежності від імпорту та підвищення продовольчої безпеки країни.

Подяки. Немає.

Конфлікт інтересів. Немає.

Referens

- Aquaculture production by country. How the sector has grown worldwide, 1950-2023. (2024). <https://www.fao.org/fishery/en/fishstat>
- Agreement for the establishing of General Fisheries Commission for the Mediterranean. (2025). <https://www.fao.org/gfcm/about/legal-framework/en/>

- Androschuk O., & Holembovska N. (2025). Analysis of the current state of the fish market of Ukraine. *Health of Man and Nation*, 3(1), 21-36. <https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2025.21>
- Atamanchuk, Z., & Tyahun, M. (2023). Current state of the world agro-industrial industry and prospects for its development. *Galician Economic Bulletin of the Ternopil National Technical University*, 84(5), 178-184.
- Bal-Prylypko L.V., Lebska T.K., Slobodyanyuk N.M., Ustimenko I.M., Nikolayenko M.S., Lebsky S.O., Androschuk O.S., Bal I.M., Ryabovol M.V., Rybchynsky R.S. (2024). Technologies of biologically active additives and delicatessen products from hydrobionts [monograph]. K.: CP "Komprint", 200 p.
- Bal, I., Lebsky, S., Tolok, G., Ustymenko, I., & Kyslytsia, Ya. (2023). State and prospects of fish processing technologies. *Animal Science and Food Technology*, 14(4), 9-25. <https://doi.org/10.31548/animal.4.2023.09>
- Buzevych, I. Yu. (2023). Rybohospodarski aspekty dotsilnosti vidnovlennia Kakhovskoho vodoskhovyshcha. Suchasni problemy ratsionalnoho vykorystannia vodnykh bioresursiv: V Mizhnar. nauk.-prakt. konf., m. Kyiv, 8-9 lyst. 2023 r.: zbirnyk mater. Kyiv: PRO FORMAT.
- Catch of aquatic bioresources in 2023 increased by 12.3%, *Agro Times. Livestock*. (2024). Access mode – State Statistics Service. <https://agrotimes.ua/tvarinnitstvo/vylov-vodnyh-bioresursiv-u-2023-rozci-zris-na-123-%e2%80%92-derzhstat/>.
- Chernyshuk, P. (2024). Viina ta shkoda dlia dovkillia: chy mozhna prytyahnuty rosiu do vidpovidalnosti?. *Yurydychna hazeta*. yur-gazeta.com. Retrieved from: <https://yur-gazeta.com/publications/practice/ekologichne-pravo-turistichne-pravo/viyna-ta-shkoda-dlya-dovkillya-chi-mozhna-prityagnuti-rosiyu-do-vidpovidalnosti.html>.
- Datsyuk, I. V. (2020). Ways to improve the cultivation of fish seed. *Slovak international scientific journal.-Slovakia: Bratislava, № 40. Vol. 1 (1). S. 3-11.*
- Dmytryshyn, R. A. (2019). State policy for the regional development of fisheries and aquaculture in Ukraine in the new conditions of the functioning of the national economy. *Competitiveness of the agricultural sector in the conditions of the functioning of the Free Zone*, 30.
- Dorozhko, V. (2025). Fish production technologies in Ukraine: Modern achievements and prospects. *Innovations and Technologies in the Service Sphere and Food Industry*, (3 (17)), 34-39.
- FAO. (2024) Report: Global fisheries and aquaculture production reaches a new record high. <https://www.fao.org/newsroom/detail/fao-report-global-fisheries-and-aquaculture-production-reaches-a-new-record-high/en>.
- FAO. (2025). *Fishery and Aquaculture Statistics (2025). Yearbook 2023*. FAO Yearbook of Fishery and Aquaculture Statistics. Rome. Access mode - <https://doi.org/10.4060/cd6788en>
- Fedorenko, M. O., Vdovenko, N. M., Pavlyuk, S. S., & Dyudyaeva, O. A. (2020). Basic principles of fisheries and aquaculture development in conditions of transformation processes. *Aquatic bioresources and aquaculture*, (2), 8.
- Kalina, I. I., & Poyda-Nosyk, N. N. (2022). Evolution of views on state regulation of the agricultural and fisheries sectors in terms of ensuring the competitiveness of products on the market. *Scientific notes of Lviv University of Business and Law*, (35), 496-501.
- Kiporenko, M., & Bezchasnyuk, B. (2018). Prospects for the development of the fish products market in Ukraine. *Bulletin of the student scientific society "VATRA" of the Vinnytsia Trade and Economic Institute of the KNTU.–Vinnytsia: Publishing House*, 71.
- Korman, I. I. (2020). Current state and prospects for the development of the domestic market of fish and fish products. *Entrepreneurship and Innovation*, (12), 49-54.
- Korman, I. I., Semenda, O. V., & Gaenko, V. I. (2021). Demand formation and sales stimulation in the domestic fish products market. *Entrepreneurship and Innovation*, (19), 19-26.
- Kovalchuk T. (2025). The state has begun paying money for stocking reservoirs: who has already received compensation? <https://delo.ua/news/derzava-pocala-viplacuvati-grosi-za-zariblennya-vodoim-xto-vze-otrimav-kompensaciyi-457753/>

- Koval, V. V., Margasova, V. G., & Vdovenko, N. M. (2023). Prospects for adapting foreign experience in state regulation of the development of fisheries and aquaculture to the conditions of the domestic market. *Academic Visions*, (24).
- Liudmyla, D., & Didkovszka, L. (2025). Development of fisheries and aquaculture in the context of Ukraine's european integration course.
- Maevskaya, T. (2011). Prospects for the development of the fish products market in Ukraine. *International scientific-practical journal commodities and markets*, 12(2), 53-61.
- Melnychenko, S.G., & Bogadorova, L.M. (2023). Fisheries of Ukraine: Development trends, problems and solutions. *Taurian Scientific Bulletin. Agricultural Sciences*, 113, 362-367. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.133.48>
- Melnychenko, S., Bohadorova, L., Okhremenko, I., Kozychar, M., Reznikova, V. (2024). The dynamics of catching aquatic bioresources in the south of Ukraine: Analysis, challenges and prospects for their solution in the context of sustainable development. *Scientific Horizons*, 27(8), 158-167. <https://doi.org/10.48077/scihor8.2024.158>
- Menchynska A. A., Lebska T. K. (2017). How to overcome the crisis in the fishing industry of Ukraine. *Food Industry of Agriculture*. No. 5. Pp. 6–9.
- Nahorniuk T.A, Pashko S.M., Mariuza A.E., Tretiak O. M. (2025). Genetic variability of *Acipenser baerii* (BRANDT, 1869) by protein polymorphism in the process of domestication in industrial aquaculture. *Ribogospod. nauka Ukr.*, 1(71): 103-120 <https://doi.org/10.61976/fsu2025.01.103>
- On approval of the Strategy for the Development of the Fisheries Industry of Ukraine for the period until 2030 and approval of the operational plan of measures for its implementation in 2023-2025. (2023). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/402-2023-%D1%80#Text>
- Public report of the Acting Head of the State Agency for Land Reclamation and Fisheries of Ukraine Ihor Klymenko for 2022 (2023). Access mode - https://darg.gov.ua/files/23/02_15_zvit.pdf
- Public report of the Acting Head of the State Agency for Land Reclamation and Fisheries of Ukraine Ihor Klymenko for 2023 (2024). Access mode - <https://www.ukrinform.ua/rubric-presshall/3827837-publicnij-zvit-pro-rezultati-roboti-derzribagentstva-za-2023-rik.html>
- Public report of the Head of the State Fisheries Agency of Ukraine for 2024 Vladyslav Neselov (2025). Access mode - https://darg.gov.ua/files/31/02_12_zvit2024.pdf
- Poplavska, O. S., & Gerasymchuk, V. V. (2020). Possibilities of import substitution of aquaculture products in Ukraine. *Fisheries Science of Ukraine*, 4(54), 22-37.
- Prysiashniuk, N., Hrynevych, N., Slobodeniuk, O., & Vdovychenko, O. (2025). Export potential of Ukrainian aquaculture: an economic-ecological approach to its formation. *Ekonomichnyy analiz*, 35(2), 204-213.
- Prylipko, T. M. (2023). Main principles of regulatory regulation of the safety of fish products in the process of commodity circulation. *Bulletin of the Lithuanian University of Technology. Technical Sciences*, (34), 55-59.
- Sinenok, I.O. (2019). An innovative component of the organizational and economic mechanism for ensuring the traceability of biological raw materials of aquatic origin in Ukraine. *Problems of Innovation and Investment Development*, 18, 131-139. <https://doi.org/10.33813/2224-1213.18.2019.14>
- Shekk P. (2025). Experience in cultivating gilthead bream (*Sparus aurata Linnaeus*, 1758) in the northwestern area of the Black Sea and prospects of its introduction into mariculture in Ukraine. *Ribogospod. nauka Ukr.*, 2 (72), 5-25. <https://doi.org/10.61976/fsu2025.02.005>
- Shukh A., Kuzmeniuk D., Kutsokon Y., Podobailo A., Shevchenko T. (2025). Some peculiarities of the reproduction of stone moroko (*Pseudorasbora parva Temminck & Schlegel*, 1846) in a pond fish farm of the Polissya zone of Ukraine. *Ribogospod. nauka Ukr.*, 1(71): 49-65. <https://doi.org/10.61976/fsu2025.01.049>
- State Statistics Service: Silsk, Lisov and Ribne Gospodarstvo. (2025). <https://stat.gov.ua/uk/topics/silske-lisove-ta-rybne-hospodarstvo>

- Starchak, B. (2023). The role of the agro-industrial complex in the development and development of the economy of Ukraine. *Scientific notes of Lviv University of Business and Law*, 39, 136-143.
- Sydorenko, V. (2024). Review of the fish and seafood market in Ukraine. *Herald of Khmelnytskyi National University. Economic sciences*, 336(6), 403-409.
- The State of World Fisheries and Aquaculture 2024. Blue transformation in action. FAO. Rome, Italy. 2024. 264 p. <https://openknowledge.fao.org/items/8ab20ccf-1e9d-4ae6-836c-ca770d16da01>
- Trofymchuk, A.M., Hrynevych, N.E., Trofymchuk, M.I., Kunovskyy, Yu.V., Bondar, O.S., Tkachenko, O.V., & Savchuk, O.V. (2021). The current state and trends in the development of fish farming in Ukraine and the world. *Technology of Production and Processing of Livestock Products*, 2(166), 123-133. <https://doi.org/10.33245/2310-9289-2021166-2-123-133>
- Ustenko, I. A., Mardar, M. R., & Pambuk, S. A. (2015). Marketing research of the surimi products market. *Agrosvit*, (9), 37-43.
- Uninets, I. I. (2022). Problematic aspects of the development of fish processing enterprises in Ukraine. New tools for forming the aggregate supply of fish and other aquatic biological resources under martial law. *Collection of Abstracts of the III International*, 110.
- Vdovenko, N. M. (2016). *Ukrainian Fisheries in the Context of Economic Globalization: Monograph*. Kyiv: CP Komprint, 476.
- Vdovenko, N.M., Marhasova, V.G., Sharylo, Y.E., & Mykhalchyshyna, L.G. (2019). Competitiveness of fisheries and aquaculture as a component of the efficiency of the national economy. *Economics and Business Management*, 10(1), 30-39. <https://doi.org/10.31548/bioeconomy2019.01.030>
- Xu L., Menchynska A. A. (2025). Raw material base for fish production in the world and market features. *Tavria Scientific Bulletin. Series: Technical Sciences*. 3. 381-387. <https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.3.41>
- Yue, K., & Shen, Y. (2022). An overview of disruptive technologies for aquaculture. *Aquaculture and Fisheries*, 7(2), 111-120. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.04.009>
- Yemtsev, V., Slobodyanyuk, N., & Yemtseva, G. (2023). Problems of functioning of the fishery industry of Ukraine in the conditions of war. *Science and Technology Today*, 13(27), 90-101. [https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-13\(27\)90-101%20](https://doi.org/10.52058/2786-6025-2023-13(27)90-101%20)

Отримано 03.12.2025 р., прийнято до друку 25.01.2026 р.

УДК 663.8

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.124>

ВИГОТОВЛЕННЯ КОМБУЧИ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕТРАДИЦІЙНОЇ СИРОВИНИ

Роман Миколайович Мукоїд

кандидат технічних наук,

<https://orcid.org/0000-0002-3454-1484>

Марина Іванівна Бойко

кандидат технічних наук, завідувач лабораторії кафедри експертизи харчових продуктів

<https://orcid.org/0000-0002-7285-1360>

Національний університет харчових технологій

01033 м. Київ, вул. Володимирська, 68, Україна

Володимир Павлович Василів

кандидат технічних наук, доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-2109-0522>

Михайло Михайлович Муштрук

кандидат технічних наук, доцент,

<https://orcid.org/0000-0002-3646-1226>

Андрій Володимирович Макєєв

Аспірант

<https://orcid.org/0009-0008-7425-1626>

Національний університет біоресурсів і природокористування України,

03041, вул. Героїв Оборони 15, м. Київ, Україна.

Анотація. Актуальність дослідження зумовлена зростаючим попитом на функціональні низькокалорійні напої та необхідністю вдосконалення технології крафтового виробництва комбучі шляхом використання натуральних замінників цукру. Метою роботи є комплексне оцінювання впливу стевії як альтернативного підсолоджувача на фізико-хімічні показники та формування сенсорного профілю ферментованого напою комбуча. Для досягнення мети використано потенціометричний метод визначення активної кислотності, титриметричний метод для встановлення титрованої кислотності, рефрактометричний аналіз вмісту розчинних сухих речовин та дескрипторно-профільний метод органолептичного оцінювання якості. Результати дослідження підтвердили, що заміна цукру на стевію забезпечує стабільний перебіг ферментації симбіотичною культурою *Medusomyces gisevii*. Встановлено, що протягом п'яти діб бродіння в обох зразках відбувається закономірне зниження рівня рН до значень 3,6...3,7 та зростання титрованої кислотності. При цьому дослідний зразок зі стевією характеризувався нижчою інтенсивністю кислотонакопичення (0,20 порівняно з 0,28 у контролі), що забезпечує м'якше смакове сприйняття. Динаміка вмісту розчинних сухих речовин свідчить про активне формування продуктів метаболізму, причому кінцеві показники Вгіх у зразку зі стевією (4,75 %) наблизилися до значень класичного варіанту (4,8 %). Сенсорний аналіз виявив трансформацію ароматично-смакового букета: використання стевії призвело до посилення інтенсивності медового дескриптора до 6 балів, пом'якшення трав'янистих тонів та формування гармонійного післясмаку. Сумарна дегустаційна оцінка комбучі зі стевією склала 20 балів, що підтверджує збереження високих споживчих властивостей за повної відсутності сахарози. Доведено, що природна фруктоза в складі субстрату є достатньою для живлення мікроорганізмів та накопичення органічних кислот. Практична цінність роботи полягає в обґрунтуванні технологічної придатності стевії для виробництва функціональних безкалорійних напоїв у крафтовому секторі та HoReCa. Впровадження розробленої технології дозволяє розширити асортимент оздоровчих продуктів

для осіб із порушеннями вуглеводного обміну та сприяє розвитку гастрономічного туризму через створення автентичних локальних брендів.

Ключові слова: стевія, ферментовані напої, функціональні продукти, сенсорна оцінка, фізико-хімічні показники

UDC 663.8

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.123>

PRODUCTION OF KOMBUCHA USING UNCONVENTIONAL RAW MATERIALS

Roman Mukoid

Ph.D. (Engineering), Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0002-3454-1484>

Marina Boiko

Ph.D. (Engineering), Associate Professor

<https://orcid.org/0000-0002-7285-1360>

National University of Food Technologies

01033, 68 Volodymyrska Str., Kyiv, Ukraine

Volodymyr Vasylyv

PhD in Technical Sciences, Associate Professor,

<https://orcid.org/0000-0002-2109-0522>

Mikhailo Mushtruk

PhD in Technical Sciences, Associate Professor,

<https://orcid.org/0000-0002-3646-1226>

Andriy Makeyev

Postgraduate student

<https://orcid.org/0009-0008-7425-1626>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,

03041, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine.

Abstract. The study is relevant because of the growing demand for functional, low-calorie beverages and the need to improve craft kombucha production technology by using natural sugar substitutes. The aim of the study is to comprehensively assess the effect of stevia as an alternative sweetener on the physicochemical parameters and sensory profile of fermented kombucha. To achieve this goal, the potentiometric method was used to determine active acidity, the titrimetric method to establish titrated acidity, refractometric analysis of soluble dry matter content, and the descriptor-profile method of organoleptic quality assessment.

The study confirmed that replacing sugar with stevia maintains stable fermentation by the symbiotic culture *Medusomyces gisevii*. During five days of fermentation, both samples showed a gradual decrease in pH to 3.6–3.7 and an increase in titratable acidity. At the same time, the experimental sample with stevia showed lower acid accumulation (0.20 compared to 0.28 in the control), resulting in milder taste perception. The dynamics of soluble dry matter content indicate active formation of metabolic products, with the final Brix values in the stevia sample (4.75%) approaching those of the classic version (4.8%). Sensory analysis revealed a transformation in the aroma and taste bouquet: the use of stevia increased the intensity of the honey descriptor to 6 points, softened herbal tones, and led to a harmonious aftertaste. The total tasting score for kombucha with stevia was 20 points, confirming the preservation of high consumer properties in the complete absence of sucrose. It has been shown that the natural fructose in the substrate is sufficient to support microorganism growth and to accumulate organic acids.

The practical value of the work lies in substantiating the technological suitability of stevia for the production of functional calorie-free beverages in the craft sector and HoReCa. The

implementation of the developed technology allows expanding the range of health products for people with carbohydrate metabolism disorders and contributes to the development of gastronomic tourism by creating authentic local brands.

Keywords: stevia, fermented beverages, functional drinks, sensory evaluation, physicochemical properties

ВСТУП. У сучасних умовах глобалізації ринку харчових продуктів спостерігається стійка тенденція до зростання споживчого попиту на напої, що поєднують у собі високі органолептичні властивості та функціональну спрямованість. Особливе місце серед них посідає комбуча – ферментований чайний напій, популярність якого у світі зумовлена унікальним профілем пробіотиків, антиоксидантів та органічних кислот. Крафтовий сектор виробництва таких напоїв стає важливим елементом не лише індустрії здорового харчування, а й гастрономічного туризму та брендингу територій.

Аналіз останніх досліджень свідчить про активний науковий пошук у напрямку вдосконалення технології комбучі. Зокрема, (Abuduaiba & Zhang, 2023) детально описали складні мікробні взаємодії всередині симбіотичної культури SCOBY, що забезпечують формування біоактивного складу напою. Питання антиоксидантних властивостей та впливу альтернативних підсолоджувачів на динаміку ферментації висвітлювали у своїх працях (Abbas & Hassan, 2024), відзначаючи високу здатність стевії підтримувати метаболічну активність мікроорганізмів. (Cheliabiieva, 2024) наголошує на важливості комбучі як компонента оздоровчого харчування в сучасних нутриціологічних стратегіях.

Окремий пласт досліджень присвячений використанню саме стевії як натурального заміника сахарози. (Umar, Ahmed & Soad, 2023) довели антигіперглікемічні властивості комбучі на основі стевії, що робить її перспективною для терапії діабету. Прогресивні метагеномні та метаболомічні дослідження (Feng, Zhang & Kang, 2026) підтвердили, що тип підсолоджувача радикально змінює метаболічний профіль напою. Водночас (Wan & Seow, 2025) вказують на те, що вплив альтернативної сировини на фізико-хімічні показники залишається недостатньо вивченим. У вітчизняному науковому просторі О. Dulka та V. Prybylskyi (2024) активно досліджують перспективи крафтового виробництва функціональних продуктів на основі SCOBY в Україні.

Актуальність роботи обумовлена необхідністю створення низькокалорійних ферментованих напоїв із прогнозованими властивостями, що відповідають вимогам здорового харчування та дозволяють розширити асортимент крафтової продукції.

Метою дослідження є комплексне вивчення впливу стевії як альтернативного підсолоджувача на динаміку ферментаційних процесів, фізико-хімічні показники та сенсорний профіль комбучі для обґрунтування доцільності її використання у технології функціональних напоїв.

Для досягнення мети було поставлено такі завдання:

проаналізувати динаміку активної, титрованої кислотності та вмісту розчинних сухих речовин у процесі бродіння;

дослідити формування органолептичних характеристик напою за використання стевії;

визначити вплив нетрадиційної сировини на інтенсивність накопичення органічних кислот.

Наукова новизна роботи полягає в отриманні нових даних про зміну фізико-хімічних параметрів та трансформацію дескрипторного профілю комбучі при повній заміні цукру на стевію, а також у підтвердженні здатності культури *Medusomyces gisevii* ефективно функціонувати на субстраті з природним вмістом фруктози без пригнічення ферментаційної активності.

МЕТОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ було комплексне дослідження впливу використання стевії як альтернативного підсолоджувача на фізико-хімічні та органолептичні показники

ферментованого напою комбуча шляхом оцінювання динаміки активної й титрованої кислотності та масової частки розчинних сухих речовин ($^{\circ}\text{Brix}$) у процесі ферментації, аналізу формування сенсорного профілю (смаку, аромату, прозорості та насиченості вуглекислим газом), визначення впливу стевії на інтенсивність ферментаційних процесів і накопичення органічних кислот, а також обґрунтування доцільності її застосування для створення функціональних напоїв із покращеними харчовими й споживчими властивостями та оцінювання перспектив використання у технології крафтового виробництва комбучі.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. Комбуча – ферментований напій на основі чаю, який відомий своїми потенційними функціональними та оздоровчими властивостями. Традиційно для її виробництва як джерело вуглеводів використовують білий цукор. Водночас вплив альтернативних підсолоджувачів, зокрема пального цукру та стевії, на фізико-хімічні й органолептичні показники комбучі вивчений недостатньо та потребує додаткових досліджень (Wan & Seow, 2025).

Чайний гриб являє собою живу симбіотичну культуру мікроорганізмів – дріжджів і оцтовокислих бактерій, що функціонує як єдина біологічна система під час ферментації чайного настою. У процесі бродіння мікроорганізми використовують цукри як основне джерело енергії та вуглецю, забезпечуючи перебіг складних біохімічних перетворень. У результаті метаболічної активності культури утворюються органічні кислоти, ферменти, вітаміни, електроліти та інші біологічно активні метаболіти мікробного походження (Dobrynja, et al. 2017). Саме ці сполуки формують характерні фізико-хімічні та органолептичні властивості напою, а також визначають його функціональний потенціал.

За даними наукових джерел, мікрофлора SCOBY у зразках комбучі з різних географічних регіонів характеризується значним різноманіттям мікроорганізмів. Тому наявні відомості щодо SCOBY комбучі, її мікробіологічного та хімічного складу, а також антибіотичних і лікувальних властивостей є варіативними та не цілком однорідними.

У процесі виробництва комбучі одночасно відбувається кілька типів бродіння – спиртове, глюконокисле та оцтовокисле (Abuduaiya, et al. 2023). У результаті формується природно збалансований комплекс біологічно активних сполук, зокрема амінокислот, вітамінів (С, групи В тощо), ферментів і органічних кислот – оцтової, молочної, глюконової, глюкуронової, яблучної та інших (Chakravorty & Gachhui 2016). Наявність такого широкого спектра біоактивних компонентів обґрунтовує доцільність використання напою в лікувально-профілактичному харчуванні.

Сучасні тенденції розробки функціональних напоїв (Goryn, Bulii, & Mukoid, 2025) підтверджують високу технологічну ефективність стевії як натурального замітника сахарози, що дозволяє створювати продукти з прогнозованими лікувально-профілактичними властивостями для збереження здоров'я нації.

Стевія, або (медова трава), - натуральний низькокалорійний замітник цукру з широким спектром лікувально-профілактичних властивостей. Солодкість стевії має неуглеводну природу, тому ця рослина практично не має калорійності і використовується для підсолоджування різноманітних страв і напоїв. Використання стевії дозволено, і навіть рекомендовано, для споживання відповідними органами.

Напій отримують шляхом ферментації підсолоджененого чайного настою із застосуванням симбіотичної культури бактерій і дріжджів (SCOBY). У процесі бродіння мікроорганізми метаболізують доступні вуглеводи з утворенням органічних кислот, біологічно активних сполук і метаболітів мікробного походження (Cheliabiieva, 2024), що формують характерний кислуватий смак, аромат і функціональні властивості комбучі.

При дослідженні властивостей стевії було проаналізовано її хімічний склад. Встановлено, що рослинна сировина містить широкий спектр біологічно активних сполук, зокрема глікозиди, вітаміни (А, В₁, С, Е), антиоксиданти (кверцетин, рутин), мінеральні

елементи (кальцій, фосфор, калій, цинк, хром, магній, мідь), органічні кислоти (яблучну, лимонну, олеїнову), дубильні речовини та ефірні олії.

Основними біологічно активними компонентами стевії є дитерпенові глікозиди, що зумовлюють її інтенсивну солодкість. Найбільш поширеним серед них є стевіозид, вміст якого в листі рослини може досягати близько 15 % від сухої маси. Стевіозид є природною безазотистою сполукою; у його структурі відсутня вільна глюкоза, що підвищує його дієтичну цінність. Високий коефіцієнт солодкості стевіозиду поєднується з практично нульовою енергетичною цінністю, що робить стевію перспективним цукрозамінником у раціонах із контрольованою калорійністю. Доведено, що комбуча, виготовлена шляхом інфузії *Stevia rebaudiana*, має виражені антигіперглікемічні властивості, що робить її перспективним засобом у комплексній терапії діабету II типу (Umar, Ahmed & Soad, 2023). Терапевтична ефективність метаболічних продуктів *Medusomyces gisevii* була продемонстрована для відновлення імунної функції під час дисбактеріозу, пов'язаного з прийомом антибіотиків (Dobrynja et al., 2017). У дослідженні додавання *Stevia rebaudiana* має на меті зберегти ці пробіотичні властивості, одночасно забезпечуючи низький глікемічний профіль, придатний для здорового харчування.

За останнє десятиліття було досягнуто значного прогресу в дослідженні чаю комбуча, і з'явилися повідомлення про те (Dulka & Prybylskyi, 2024), що вживання комбучі може запобігати різним видам раку та серцево-судинних захворювань, сприяти покращенню функції печінки та стимулювати імунну систему.

Завдяки цим властивостям стевію доцільно використовувати як альтернативне джерело солодкого смаку в харчуванні осіб із порушенням вуглеводного обміну, зокрема при цукровому діабеті. Наявність у листі дубильних речовин також зумовлює виражені протизапальні властивості, пов'язані з їх впливом на слизові оболонки.

Напої на основі стевії можуть розглядатися як функціональні продукти та рекомендовані для профілактичного споживання різними групами населення в межах раціонального харчування.

У зв'язку зі зростанням інтересу до функціональних безкалорійних продуктів харчування, актуальним є вивчення можливості використання стевії як альтернативної сировини у виробництві ферментованого напою комбуча. Попередні дослідження показали, що стевія може бути ефективно інтегрована у комбучу, сприяючи росту молочнокислих бактерій та впливаючи на органолептичні властивості напою (Rihibiha et al., 2022). Дослідження останніх років (Wan & Seow, 2025) демонструють, що тип підсолоджувача радикально змінює не лише смаковий профіль, а й швидкість ферментації комбучі. Зокрема, порівняльний аналіз білого цукру та стевії вказує на суттєву різницю в накопиченні органічних кислот. Метагеномний аналіз підтвердив зміни мікробіому та метаболічних профілів при ферментації при використанні стевії, що відкриває перспективи для створення нових функціональних продуктів харчування (Feng, T., Zhang, T., & Kang, W., 2026). Крім того, листя стевії може служити не лише як підсолоджувач, але й як частина субстрату з підвищеними антиоксидантними властивостями. Використання стевії у технології комбучі не лише вирішує проблему калорійності, а й сприяє корекції метаболічних порушень. Згідно з дослідженнями (Li et al. 2023), екстракт *Stevia rebaudiana* здатен пом'якшувати інсулінорезистентність шляхом регуляції функцій мітохондрій та зниження оксидативного стресу, що робить цей субстрат стратегічно важливим для виробництва напоїв функціонального призначення».

Гастрономічний туризм сьогодні трансформується у пошук автентичності. Комбуча з місцевих інгредієнтів стає інструментом територіального брендингу (Prybylskyi, & Dulka, 2024). За даними (Kovalska, & Savchenko, 2023), туристи все частіше шукають локальні продукти, що мають історію та приносять користь здоров'ю. Впровадження дегустаційних турів на крафтові ферментаційні виробництва створює нові точки тяжіння для мандрівників.

Сучасний етап розвитку індустрії гостинності характеризується переходом від стандартизованих продуктів до персоналізованого та крафтового пропонування. Як зазначає

Sigala (2020), заклади HoReCa стають не просто місцями споживання їжі, а центрами гастрономічного досвіду, де інноваційні напої (зокрема комбуча) виступають маркером якості та екологічної свідомості бренду.

Використання фітосировини у виробництві комбучі дозволяє моделювати нутрієнтний склад напою. Додавання компонентів з високим вмістом адаптогенів та антиоксидантів перетворює комбучу з освіжаючого напою на засіб превентивної нутриціології. Дослідження підтверджують, що синергія мікроорганізмів SCOBY та біоактивних сполук нетрадиційної сировини (наприклад, поліфенолів ягід або глікозидів трав) посилює імунomodуючий ефект (Leal et al., 2020).

Отже, аналіз літературних джерел свідчить, що комбуча є складною ферментаційною системою з варіативним мікробіологічним складом і широким спектром біологічно активних метаболітів, функціональні властивості якої значною мірою визначаються типом використаного підсолоджувача та рослинної сировини. Використання альтернативних джерел солодкості, зокрема стевії, розглядається як перспективний напрям удосконалення технології напою завдяки її низькій калорійності, біоактивному складу та потенційному метаболічному ефекту. Водночас наявні дані щодо впливу стевії на перебіг ферментації, формування фізико-хімічних і органолептичних показників комбучі залишаються обмеженими, що обґрунтовує доцільність проведення цілеспрямованих експериментальних досліджень у цьому напрямі.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Дослідження проведено у 2025 році на базі лабораторій кафедри біотехнології продуктів бродіння і виноробства Національного університету харчових технологій. Основним об'єктом дослідження був ферментований напій комбуча, виготовлений із використанням симбіотичної культури (SCOBY) та традиційного або альтернативного підсолоджувача – цукру або стевії.

1. Сировина. Для досліджень використано: чай чорний листовий – 6 г на 400 см³ води; цукор – 50 г (для контрольного зразка); стевія – 10 г (для дослідного зразка); підготовлена вода – 400 см³ на один зразок; культура *Medusomyces gisevii* – 50 см³.

2. Підготовка ферментаційного середовища. Воду нагрівали до 92 °С, розчиняли цукор або стевію та додавали чай. Настій витримували 30 хвилин, після чого охолоджували до 28–31 °С і фільтрували через ситовий фільтр. Для ферментації використовували конічні колби місткістю 500 см³.

3. Варіанти дослідних зразків:

Зразок 1 (контроль) – чайне сушло із цукром;

Зразок 2 (дослідний) – чайне сушло зі стевією, без додаткового цукру.

4. Процес ферментації. У кожен колбу вносили 50 см³ культури SCOBY. Ферментацію проводили у темному місці при температурі 28–31 °С протягом 5 діб. Відбір проб здійснювали кожен добу.

5. Визначені показники. Досліджували основні фізико-хімічні показники, які відображають перебіг ферментації: активна кислотність (рН) – методом потенціометрії; титрована кислотність (ТА) – за стандартною методикою; масова частка розчинних сухих речовин (Вгіх) – рефрактометрично. Всі аналізи виконували у триразовій повторності. Результати обробляли статистично, визначаючи середнє арифметичне та середнє відхилення.

6. Органолептична оцінка. Для оцінки сенсорних властивостей застосовували дескрипторно-профільний метод дегустації. Дегустатори оцінювали зовнішній вигляд, прозорість, смак, аромат, післясмак та насиченість вуглекислим газом за шестибальною шкалою (0...6 балів). Результати узагальнено для порівняння класичного зразка, дослідного зразка зі стевією та ароматизованого «Дюшес».

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ. На першому етапі досліджень після вибору нетрадиційної сировини проводили визначення фізико-хімічних показників напою в процесі

бродиння. Для зручності дослідження було сформовано два зразки: зразок 1 – класична комбуча, зразок 2 – комбуча з використанням стевії.

Основним завданням дослідження було спостереження за перебігом процесу бродиння та оцінювання змін ключових технологічних показників, зокрема активної кислотності, масової частки сухих речовин та значення рН, які є визначальними параметрами процесу виробництва комбучі.

Для приготування ферментаційного середовища використовували культуру симбіотичної закваски *Medusomyces gisevii* об'ємом 50 см³, підготовлену воду – 400 см³, чай – 6 г, цукор – 50 г, а також стевію – 10 г (для дослідного зразка). Процес проводили у скляному лабораторному посуді – конічних колбах місткістю 500 см³.

Підготовку сусла здійснювали шляхом нагрівання 400 см³ води до температури 92 °С із подальшим внесенням 50 г цукру та перемішуванням до повного розчинення. Після цього додавали 6 г чайної сировини та проводили настоювання протягом 30 хвилин. Отриманий настій охолоджували до температури 28...31 °С та фільтрували через сичастий фільтр для видалення чайного листа.

Було сформовано два варіанти зразків: зразок 1 (контроль) – чайне сусло із цукром; зразок 2 (дослідний) – чайне сусло зі стевією у кількості 10 г без додаткового внесення цукру.

Після охолодження до температури ферментації в кожен колбу вносили 50 см³ культури *Medusomyces gisevii*. Ферментацію проводили у темному місці за температури 28...31 °С протягом 5 днів.

Відбір проб здійснювали в день приготування сусла та щоденно протягом усього періоду ферментації. Визначали такі показники: активну кислотність (рН), титровану кислотність та вміст розчинних сухих речовин (°Brix).

Усі дослідження виконували у триразовій повторності. Результати обробляли статистично та подавали у вигляді середнього значення та середнього арифметичного відхилення, результати досліджень процесу ферментації напоїв представлені на рисунку 1-3.

За результатами спостереження встановлено (рис. 1), що в обох зразках упродовж 5 днів ферментації відбувається закономірне зниження значення рН, що свідчить про активний перебіг процесів кислотоутворення та метаболічної активності симбіотичної культури *Medusomyces gisevii*.

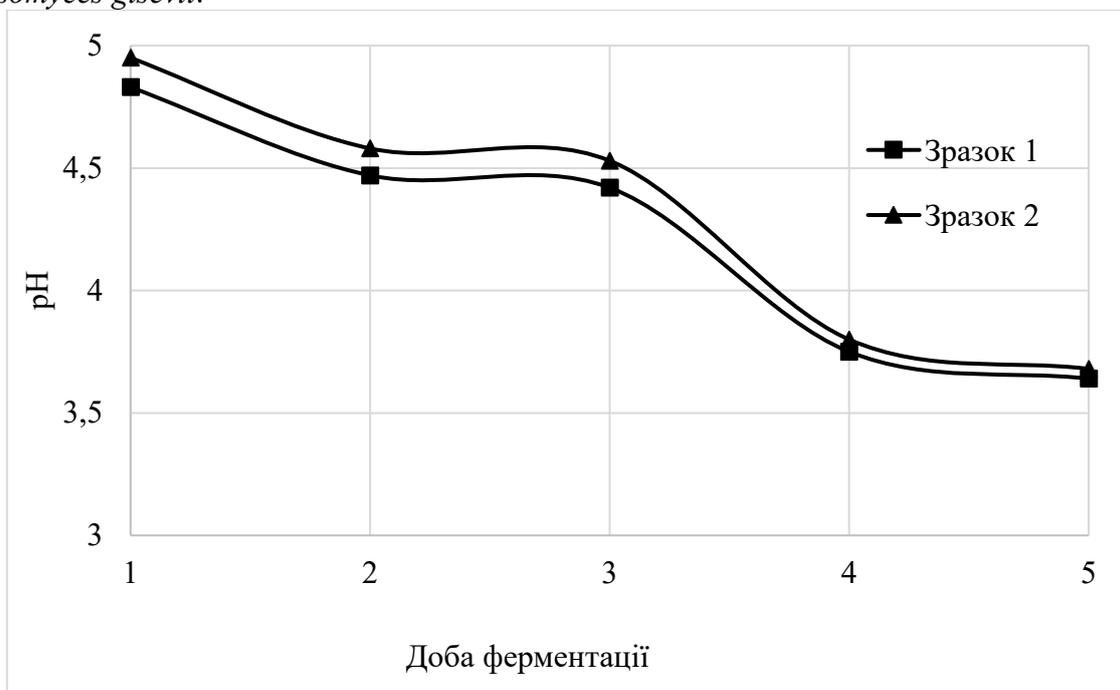


Рисунок 1. Динаміка зміни рН напою під час ферментації

Джерело: авторська розробка

Це пояснюється тим, що продукти, в яких унаслідок молочнокислого бродіння (ферментації) накопичуються органічні кислоти, зокрема молочна, оцтова та пропіонова.

На початковому етапі ферментації зразок зі стевією (зразок 2) характеризувався дещо вищим рівнем рН порівняно з контрольним зразком із цукром (зразок 1). Протягом 1–3 діб зниження рН відбувалося поступово, без різких коливань, що вказує на стабільний розвиток мікрофлори.

Найбільш інтенсивне підкислення середовища спостерігається між 3 та 4 добою ферментації в обох зразках – саме в цей період фіксується найбільший градієнт зниження рН. На 5 добу значення рН стабілізуються на рівні близько 3,6–3,7, що є типовим для завершальної стадії ферментації комбучі.

Кислоти призводять до зниження рН та появи кислого смаку, а також змінюють текстуру продукту та можуть підвищувати його харчову цінність. Наприклад, за рахунок підвищення розчинності мінеральних елементів, через що вони краще засвоюються людським організмом.

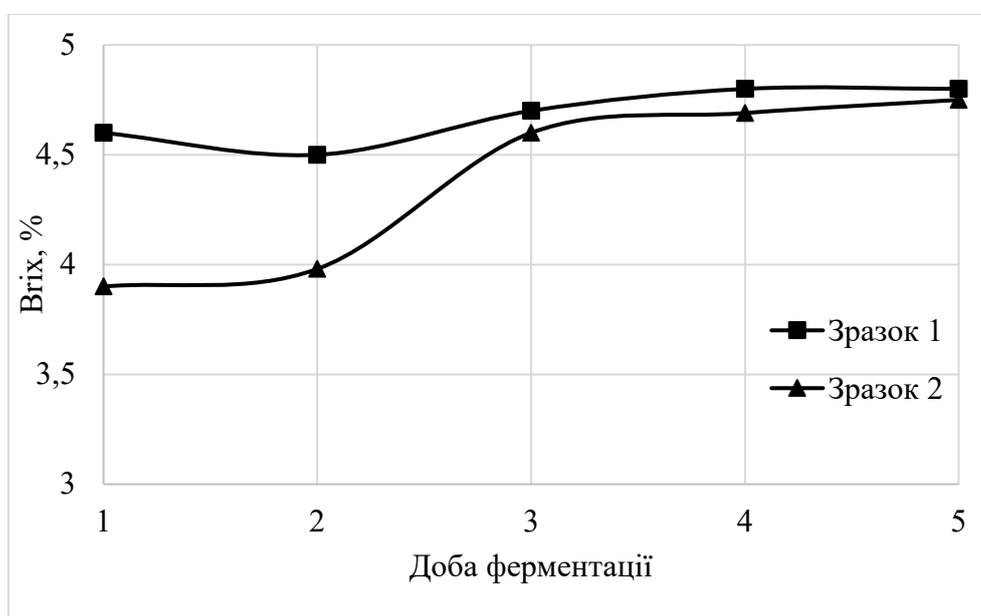


Рисунок 2. Динаміка зміни Brix напоя під час ферментації

Джерело: авторська розробка

Аналіз динаміки масової частки розчинних сухих речовин (Brix) у процесі ферментації показав, що в обох дослідних зразках спостерігається загальна тенденція до підвищення показника протягом усього періоду спостереження.

У контрольному зразку (зразок 1) значення Brix на початку процесу становило близько 4,6 % із незначним зниженням на другу добу, після чого відзначено поступове зростання до 4,8 % на п'яту добу ферментації. Коливання мають плавний характер, що свідчить про стабільний перебіг біохімічних перетворень у середовищі.

У дослідному зразку зі стевією (зразок 2) стартове значення було нижчим (близько 3,9 %), однак у період між 2 та 3 добою зафіксовано найбільш інтенсивне зростання показника. Надалі відбувалося повільне підвищення до рівня $\approx 4,7\text{--}4,75\%$ наприкінці ферментації.

Зближення значень Brix у дослідному та контрольному зразках на завершальному етапі процесу може свідчити, що у напоях присутні дубильні та ароматичні речовини, кофеїн і вітаміни які містяться в чайному листі, які є головною складовою для формування аромату та смаку. Вміст у чаї біологічно активних речовин, зокрема, азотного та фосфорного живлення, що необхідне для фізіології дріжджів і оцтовокислих бактерій можуть прискорити процес

бродиння. Встановлено, що наявність у суслі складових чаю значно прискорює процес бродиння. Отримані дані підтверджують, що використання стевії не перешкоджає формуванню необхідного рівня розчинних сухих речовин у ферментованому напої.

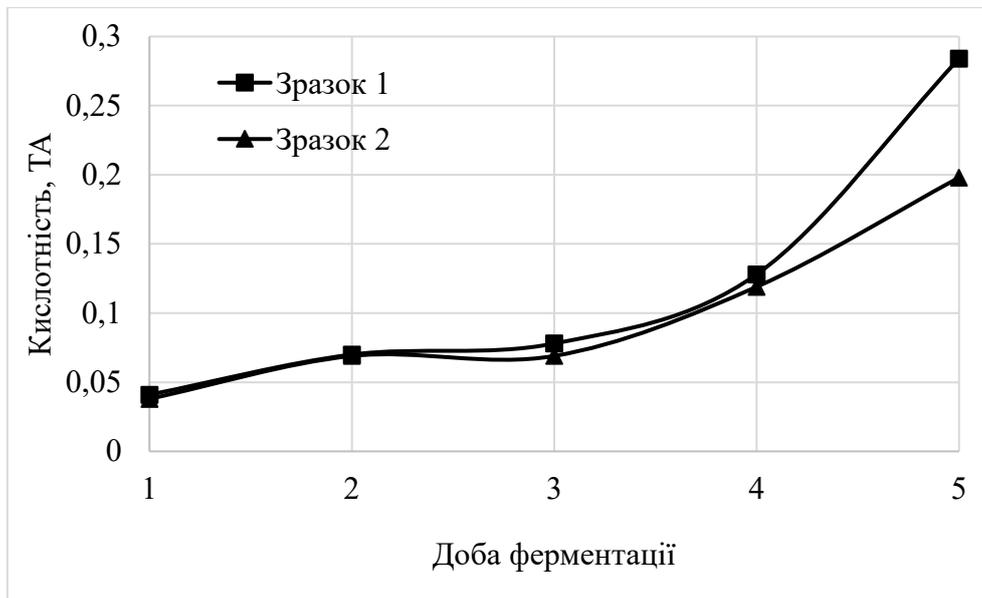


Рисунок 3. Динаміка зміни кислотності напою під час ферментації

Джерело: авторська розробка

Дослідження динаміки титрованої кислотності в процесі ферментації комбучі показало її поступове зростання в обох зразках упродовж усього періоду спостереження, що є характерною ознакою активного накопичення органічних кислот у результаті життєдіяльності симбіотичної мікрофлори *Medusomyces gisevii*.

На початкових етапах ферментації (1–3 доба) приріст титрованої кислотності мав помірний характер і не перевищував 0,08 од. ТА, що свідчить про адаптацію мікроорганізмів до поживного середовища. Починаючи з 4 доби ферментації спостерігається різке зростання кислотності, що вказує на інтенсифікацію біохімічних процесів та активне утворення органічних кислот.

Контрольний зразок із сахарозою (зразок 1) характеризувався більш високими значеннями титрованої кислотності порівняно з дослідним зразком зі стевією (зразок 2), особливо на завершальному етапі ферментації. На 5 добу значення ТА у зразку 1 досягало близько 0,28, тоді як у зразку 2 – близько 0,20.

Отримані результати узгоджуються з даними щодо зниження рН та підтверджують, що заміна цукру на стевію знижує інтенсивність кислотонакопичення, не пригнічуючи при цьому перебіг ферментаційного процесу. Це може бути позитивним з точки зору формування більш м'яких органолептичних властивостей напою та розширення можливостей його використання як функціонального продукту.

Згідно з останніми висновками (Abbas and Hassan 2024), використання *Stevia rebaudiana* як повного або часткового заміника цукру ефективно підтримує динаміку ферментації комбучі, одночасно значно підвищуючи її антиоксидантну здатність, що робить її придатною сировиною для виробництва функціональних напоїв

Швидше за все це пов'язано з буферними властивостями стевіозиду. Процес бродиння напою з додаванням стевії проходить завдяки вмісту фруктози, яка міститься у природному складі, як показали дослідження, що для бродиння напою достатньо природної фруктози, яка живить культуру *Medusomyces gisevii*.

Після визначення фізико-хімічних показників було проведено органолептичну оцінку дослідних зразків напоїв комбучі. Для сенсорного аналізу обрано три варіанти напою:

«Класична», «Дюшес» та «Стевія», які є близькими за технологічною схемою та рецептурним складом. Усі зразки виготовляли за базовою технологією ферментації чайного сула з використанням культури *Medusomyces gisevii*, при цьому у зразку «Стевія» цукор замінено на підсолоджувач рослинного походження – стевію.

Оцінювання якості напоїв проводили органолептичним методом із застосуванням дескрипторно-профільного підходу дегустаційного аналізу. Метод передбачав формування переліку сенсорних характеристик (дескрипторів), що найбільш повно описують споживчі властивості продукту – зовнішній вигляд, аромат, смак, післясмак та загальне враження.

На основі попереднього обговорення сенсорних відчуттів експертною групою було сформовано та уточнено глосарій дескрипторів. Подальше оцінювання здійснювали шляхом індивідуальної дегустації зразків із визначенням інтенсивності прояву кожної характеристики.

Інтенсивність дескрипторів оцінювали за шестибальною шкалою: 0 – ознака відсутня; 1 – ледь впізнавана; 2 – слабка; 3 – помірна; 4 – 5 – виражена; 6 – дуже сильна інтенсивність прояву.

Результати роботи дегустаційної комісії узагальнено та наведено в табл. 1.

Таблиця 1 - Результати дегустаційної оцінки ферментованого напою комбуча

Показники якості напою	«Класична»	«Дюшес»	«Стевія»
	Бали		
Прозорість	2	2	2
Зовнішній вигляд	3	2	4
Смак	6	4	5
Аромат	5	5	4
Насиченість CO ₂	6	3	5
Всього	22	16	20

За результатами дескрипторно-профільної дегустаційної оцінки встановлено відмінності у сенсорних характеристиках дослідних зразків комбучі – «Класична», «Дюшес» та «Стевія». За показником прозорості всі зразки отримали однакову оцінку – 2 бали, що свідчить про подібний рівень візуальної чистоти напою після ферментації та фільтрування.

Зовнішній вигляд найвище оцінено у зразку «Стевія» – 4 бали, що може бути пов'язано з більш привабливим кольором та візуальним сприйняттям напою. Найвищі бали за смак отримав зразок «Класична» – 6 балів, що вказує на найбільш гармонійний смаковий профіль. Зразок «Стевія» набрав 5 балів і продемонстрував достатньо виражені та прийнятні смакові характеристики. Найнижчу оцінку за цим показником мав зразок «Дюшес» – 4 бали.

За ароматом зразки «Класична» та «Дюшес» отримали по 5 балів, що свідчить про добре сформований ароматичний профіль. У зразку «Стевія» аромат оцінено дещо нижче – 4 бали, що може пояснюватися специфічними нотами підсолоджувача. Показник насиченості вуглекислим газом мав найбільшу варіативність: «Класична» – 6 балів, «Стевія» – 5 балів, «Дюшес» – 3 бали. Це вказує на різну інтенсивність вторинної карбонізації та сприйняття ігристості напоїв. Сумарна органолептична оцінка становила: «Класична» – 22 бали, «Стевія» – 20 балів, «Дюшес» – 16 балів.

Отримані результати свідчать, що зразок комбучі зі стевією за комплексом сенсорних показників наближається до класичного варіанту та перевищує зразок «Дюшес». Це підтверджує доцільність використання стевії як альтернативного підсолоджувача при виробництві ферментованих функціональних напоїв без суттєвої втрати споживчих властивостей.

Поглиблений дескрипторний аналіз сенсорного профілю (рис. 4) дослідних зразків комбучі виявив суттєві відмінності у структурі ароматично-смакового букета між варіантами «Класична», «Дюшес» та «Стевія».

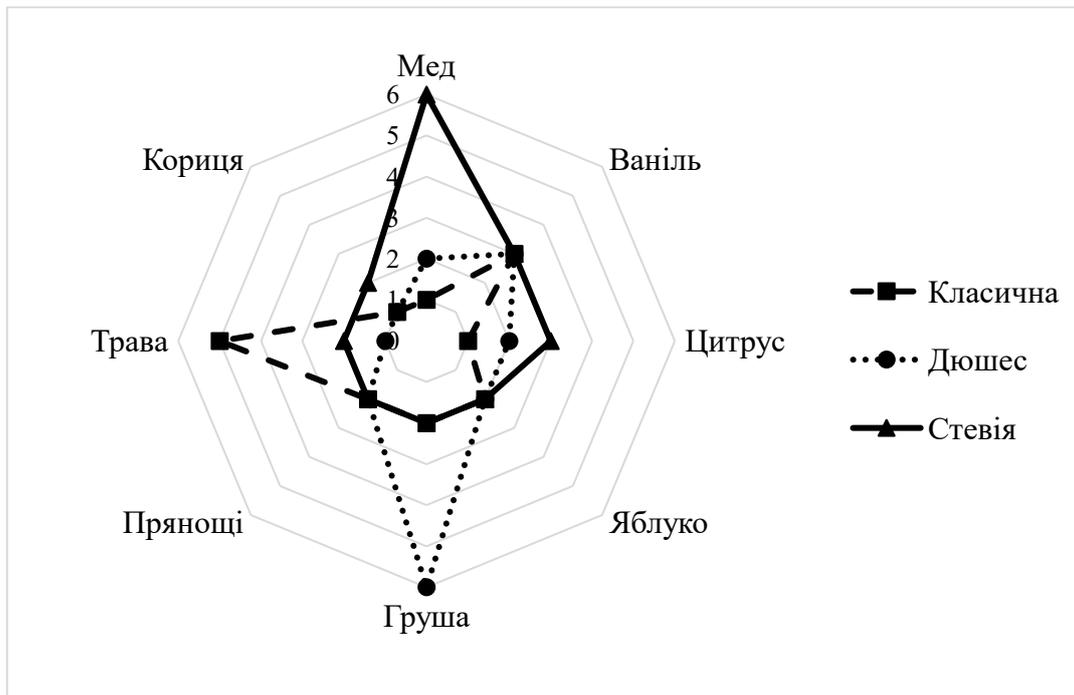


Рисунок 4. Профілограма ферментованого напою комбуча

Джерело: авторська розробка

Зразок «Класична» характеризується найбільш вираженими трав'яними нотами (5 балів), що є типовим для традиційної комбучі на основі чайної ферментації. Помірно виражені дескриптори ванілі (3 бали), яблука, груші та прянощів (по 2 бали) формують збалансований, але більш ферментаційно-рослинний профіль. Медові, цитрусові та коричні відтінки мають низьку інтенсивність (1 бал), що свідчить про їх фоновий характер.

Зразок «Дюшес» демонструє чітко домінуючий грушевий дескриптор (6 балів), який формує провідний ароматичний образ напою. Додатково відзначено помірні цитрусові та медові ноти (по 2 бали) і середній рівень ванільного відтінку (3 бали). При цьому трав'яна складова виражена мінімально (1 бал), що відрізняє профіль від класичного ферментаційного типу та зсуває його в бік ароматизованого напою.

Зразок «Стевія» має найбільш інтенсивний медовий дескриптор (6 балів), що є характерною сенсорною особливістю підсолоджувача рослинного походження. Додатково зафіксовано помірні цитрусові (3 бали), ванільні (3 бали) та слабко-пряні відтінки (2 бали). Трав'янистість виражена слабше (2 бали), ніж у класичному варіанті, що свідчить про пом'якшення ферментаційного профілю.

Загалом дескрипторний аналіз показує, що використання стевії суттєво змінює сенсорний профіль комбучі – зменшується інтенсивність трав'янистих тонів і посилюються медово-солодкі та м'які ароматичні ноти.

Комплексна оцінка фізико-хімічних і органолептичних показників ферментованих напоїв комбучі показала узгоджений характер змін у процесі бродіння та чіткий вплив рецептурних особливостей на якість готового продукту. Встановлено закономірне зниження рН і зростання титрованої кислотності впродовж ферментації, що підтверджує активне накопичення органічних кислот і стабільний перебіг мікробіологічних процесів. Динаміка Вгіх свідчить про формування розчинних продуктів метаболізму та екстрактивних речовин напою.

Сенсорний аналіз виявив, що класичний зразок має найбільш збалансований смако-ароматичний профіль і максимальну сумарну дегустаційну оцінку. Зразок зі стевією продемонстрував високі органолептичні показники та наближені до контрольного варіанту

споживчі властивості, при цьому характеризувався м'якшим кислотним сприйняттям і вираженішими медово-солодкими дескрипторами. Ароматизований зразок типу «Дюшес» сформував вузько виражений фруктовий профіль, але поступався за комплексною оцінкою.

Отримані результати комплексного дослідження впливу стевії на технологічні та органолептичні параметри комбучі дозволяють провести глибокий аналіз у контексті світових тенденцій розробки функціональних напоїв. Порівняння власних експериментальних даних із результатами інших авторів дає змогу визначити місце даної роботи у сучасній харчовій біотехнології.

Ключовим аспектом нашого дослідження була динаміка активної кислотності. Встановлене зниження рН до рівня 3,6...3,7 на п'яту добу ферментації корелює з висновками (L. K. Rahmawati 2025), яка у своїй роботі зазначала, що стабілізація рН у межах 3,5...3,8 є критичним показником завершення первинної ферментації комбучі, незалежно від типу субстрату. Спільним у наших результатах є підтвердження того, що кислотоутворювальна здатність симбіозу *Medusomyces gisevii* зберігається навіть при зміні вуглеводного джерела.

Проте, при аналізі титрованої кислотності виявлено цікаві відмінності. У нашому експерименті зразок зі стевією продемонстрував нижчу швидкість накопичення кислот (0,20 од. ТА) порівняно з класичним варіантом (0,28 од. ТА). Це частково дискутує з результатами (Abbas, M., & Hassan, S., 2024), які вказували, що використання *Stevia rebaudiana* може навпаки інтенсифікувати ферментацію за рахунок додаткових нутрієнтів у рослинному екстракті. Така різниця може бути пояснена використанням у нашому дослідженні іншої концентрації стевії або специфікою штамового складу SCOBY. У свою чергу, (Wan N. B. W. D. & Seow, E. K., 2025). також відзначали суттєву різницю в накопиченні органічних кислот при порівнянні цукру та альтернативних підсолоджувачів, що повністю підтверджує нашу тезу про вплив типу цукрозамінника на метаболічний профіль.

Важливим внеском у розуміння процесів бродіння є наші дані щодо динаміки сухих речовин (°Brix). Зростання показника до 4,75 % у зразку зі стевією вказує на активне формування продуктів метаболізму та екстракцію біоактивних сполук. Це узгоджується з дослідженням (Sivakumar, S., Arumugam, M., & Raja, R., 2026)., які розглядали синергічний ефект стевії та ботанічних субстратів. Автори зазначали, що стевія сприяє росту пробіотичного потенціалу та збагаченню напою вторинними метаболітами, що ми й спостерігали у вигляді зростання розчинних речовин.

Особливу увагу варто приділити органолептичній оцінці. Нами встановлено, що стевія формує медово-солодкий профіль (6 балів за відповідним дескриптором) і пом'якшує трав'янисті ноти. Схожі результати описували (Abbas, M., & Hassan, S., 2024) та (Gogun Y., Bulii Y., & Mukoid R., 2025), стверджуючи, що використання стевії як натурального підсолоджувача дозволяє нівелювати різку кислотність, притаманну класичній комбучі, та зробити напій більш привабливим для масового споживача. Це підтверджує нашу думку про доцільність використання стевії для корекції сенсорного профілю функціональних продуктів.

В аспекті функціональності наші результати про можливість створення безкалорійного напою без пригнічення життєдіяльності SCOBY перегакуються з роботою (Umar, A. U., Ahmed, Q. U., Muhammad, B. Y., & Soad, S. Z. M. 2023). Автор зосередився на антигіперглікемічних властивостях такої комбучі, доводячи її ефективність у комплексній терапії діабету II типу. Хоча наше дослідження не включало клінічних випробувань, отримані нами фізико-хімічні стабілізаційні показники створюють технологічну базу для реалізації саме таких оздоровчих ефектів, про які пише Umar.

Дослідження (Feng, T., Zhang, T., & Kang, W., 2026) розглядало проблему на глибшому метагеномному рівні. Їхні дані підтвердили зміни мікробіому при використанні стевії, що пояснює зафіксовані нами відхилення у значеннях рН та ТА між зразками. Ми спостерігали зовнішні прояви цих змін (м'якший смак, інша швидкість бродіння), тоді як Feng надав цьому генетичне обґрунтування.

У розрізі розвитку крафтового виробництва та гастрономічного туризму наші висновки про перспективність стевії для локальних виробництв підтримуються працями Dulka O. & Prybyl'skyi V., (2024). Автори розглядали комбучу як інструмент територіального брендингу. Спільним є те, що інноваційні підходи до рецептури (використання нетрадиційної сировини) є ключовим фактором конкурентоспроможності крафтових брендів на сучасному етапі розвитку індустрії HoReCa, про що також зазначала (Sigala M., 2020) у контексті екологічної свідомості брендів.

На відміну від роботи (Dobryn'ia, Yu. M., Pelykh, V. H., & Mykhail'ytska, O. V., 2017), який акцентував на імуномодулюючих властивостях біоактивних речовин комбучі при дисбактеріозі, наше дослідження більше сфокусоване на технологічній придатності субстрату. Проте обидві роботи доповнюють одна одну: ми доводимо, що технологічно напій зі стевією є стабільним, а Dobryn'ia підтверджує, що продукти метаболізму *Medusomyces gisevii* зберігають свою біологічну цінність для організму.

Підсумовуючи порівняльний аналіз, можна стверджувати, що наше дослідження заповнює існуючу прогалину в питаннях практичного застосування стевії в українському крафтовому секторі. Спільність результатів із міжнародними дослідженнями щодо стабільності ферментації підтверджує достовірність наших даних, а виявлені особливості в інтенсивності кислотонакопичення та формування специфічного медового профілю відкривають нові можливості для моделювання напоїв із заданими властивостями. Використання природної фруктози субстрату як єдиного джерела живлення, що було зафіксовано в роботі, є важливим технологічним нюансом, який дозволяє мінімізувати собівартість при збереженні функціонального статусу продукту. Таким чином, робота вносить вагомий внесок у розвиток теорії та практики виробництва ферментованих напоїв нового покоління.

ВИСНОВКИ. Проведене дослідження показало, що заміна традиційного цукру на стевію у рецептурі комбучі не перешкоджає перебігу ферментації, забезпечує стабільне накопичення органічних кислот і формування необхідного рівня розчинних сухих речовин, що підтверджує технологічну придатність стевії як альтернативного підсолоджувача.

Динаміка зміни фізико-хімічних показників свідчить про закономірне зниження рН та зростання титрованої кислотності у процесі ферментації обох зразків, при цьому зразок зі стевією характеризувався більш м'яким кислотним сприйняттям, що може позитивно впливати на органолептичні властивості напою та його функціональність.

Аналіз Vrix показав, що використання стевії забезпечує формування розчинних продуктів метаболізму та екстрактивних речовин, необхідних для смакових та ароматичних властивостей напою, при цьому кінцеві значення показника близькі до класичного варіанту.

Сенсорна оцінка підтвердила, що зразок комбучі зі стевією має високі органолептичні характеристики, близькі до класичного варіанту: збережено привабливий смак і аромат, а також оптимальний зовнішній вигляд і насиченість вуглекислим газом. При цьому відзначено посилення медово-солодких та м'яких ароматичних нот і пом'якшення трав'янистих тонів.

Використання стевії як нетрадиційної сировини для виробництва комбучі дозволяє створювати функціональні безкалорійні напої з потенційними оздоровчими ефектами, що робить її перспективною для раціонального та лікувально-профілактичного харчування.

Отримані результати обґрунтовують доцільність впровадження стевії у технологію крафтових ферментованих напоїв для формування продуктів з керованими фізико-хімічними, органолептичними та функціональними властивостями, що відповідає сучасним тенденціям здорового харчування та розвитку гастрономічного туризму.

Подяки. Немає.

Конфлікт інтересів. Немає.

References

- Abbas, M., & Hassan, S. (2024). Effect of *Stevia rebaudiana* as a sugar substitute on the fermentation dynamics and antioxidant properties of Kombucha. *Food Chemistry: X*, 21, Article 101054. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2024.101054>
- Abuduaiba, T., & Zhang, S. (2023). Microbial consortium and metabolic interactions in kombucha fermentation: A review. *Journal of Food Science and Biotechnology*, 42(3), 112–125. <https://doi.org/10.1016/j.fsb.2023.01.005>
- Chakravorty, S., Bhattacharya, S., Chatzinotas, A., Chakraborty, W., Bhattacharya, D., & Gachhui, R. (2016). Kombucha tea fermentation: Microbial and biochemical dynamics. *International Journal of Food Microbiology*, 220, 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.12.015>
- Cheliabiieva, V. M. (2024). Kombucha – fermentovanyi napii na osnovi chaiu, komponent ozdorovchoho kharchuvannia [Kombucha – a fermented tea-based drink, a component of health nutrition]. *Prodovolchi resursy [Food Resources]*, 12(23), 199–206. <https://doi.org/10.31073/foodresources2024-23-23>
- Dobrynia, Yu. M., Pelykh, V. H., Galytskyi, V. A., & Mykhailytska, O. V. (2017). Vliianie biologicheski aktivnoi substanssii iz *Medusomyces gisevii* (chainyi grib) na immunitet belykh krys v usloviakh antibiotiko-assotsirovannogo disbakterioza [Influence of a biologically active substance from *Medusomyces gisevii* (Kombucha) on the immunity of white rats under conditions of antibiotic-associated dysbacteriosis]. *Veterinarnaia Patologiya*, 61(3), 22–30.
- Dulka, O., & Prybyl'skyi, V. (2024). Vykorystannia kombuchi ta kultury SCOBY v tekhnolohii funktsionalnykh produktiv [Use of kombucha and SCOBY culture in the technology of functional products]. In *Promyslovist ta kraft dlia HoReCa v turyzmi: dosvid, problemy, innovatsii: materialy II Mizhnarodnoi naukovo-praktychnoi konferentsii* (pp. 69–71). National University of Food Technologies.
- Feng, T., Zhang, T., Yao, L., Sun, M., & Kang, W. (2026). Metagenomic and metabolomic insights into kombucha fermentation with *Stevia rebaudiana* as a substrate. *Food Bioscience*, 76, Article 108261. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2026.108261>
- Goryn Y., Bulii, Y., & Mukoid, R. (2025). Innovative technologies for the production of functional beverages using *Stevia rebaudiana* as a natural sweetener. *Human Health and the Nation*, 1(25), 112–119. <https://doi.org/10.61363/8zyy5b06>
- Koval'ska, L., & Savchenko, O. (2023). Craft beverages as a tool for increasing the attractiveness of gastronomic routes in Ukraine. *Economy and Society*, 48. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2023-48-112>
- Leal, J. M., Suárez, L. V., Jayabalan, R., Oros, J. H., & Escalante-Aburto, A. (2020). A review on health benefits of kombucha tea in metabolic disorders. *Food Chemistry*, 327, 127068. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.127068>
- Li, Y., Wang, J., Zhang, X., & Liu, H. (2023). *Stevia (Stevia rebaudiana)* extract ameliorates insulin resistance by regulating mitochondrial function and oxidative stress in the skeletal muscle of db/db mice. *Food & Function*, 14(4), 2115–2127. <https://doi.org/10.1039/D2FO03222A>
- Prybyl'skyi, V., & Dulka, O. (2024). Perspektyvy rozvytku kraftovoho vyrobnytstva napoiiv v Ukraini [Prospects for the development of craft beverage production in Ukraine]. *Journal of Food Resources*, 12(22), 45-53.
- Rahmawati, L. K. (2025). Changes in the quality of kombucha during fermentation: A study of microbial, physicochemical and sensory attributes. *Jurnal Inovasi Pangan Dan Gizi*, 2(2), 127–141. <https://doi.org/10.61511/jipagi.v2i2.2243>
- Sigala, M. (2020). Tourism and hospitality management and strategy in the age of the pandemic. *International Journal of Hospitality Management*, 91, 102652. <https://doi.org/10.1016/j.ijhm.2020.102652>
- Sivakumar, S., Arumugam, M., & Raja, R. (2026). Synergistic effect of *Stevia rebaudiana* and alternative botanical substrates on the probiotic potential and metabolic profile of Kombucha. *Food Bioscience*, 64, Article 108261. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2026.108261>

- Umar, A. U., Ahmed, Q. U., Muhammad, B. Y., Dogarai, B. B. S., & Soad, S. Z. M. (2023). Anti-hyperglycemic and antioxidant properties of *Stevia rebaudiana* infused kombucha: In vitro and in vivo studies. BMC Complementary Medicine and Therapies, 23, Article 203. <https://doi.org/10.1186/s12906-023-04033-5>
- Wan N. B. W. D. & Seow, E. K. (2025). The effect of white sugar, palm sugar, and stevia on characteristics of kombucha. Junior Science Communication, 5(2), 22–30..

Отримано 12.12.2025 р., прийнято до друку 20.02.2026 р.

УДК 664.38:66.063.6:66.084:633.522

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.139>

ФІЗИЧНА МОДЕЛЬ ФОРМУВАННЯ СТАБІЛЬНОЇ ХАРЧОВОЇ МАТРИЦІ КОНОПЛЯНОЇ ЕМУЛЬСІЇ ЗА УЛЬТРАЗВУКОВОГО КАВІТАЦІЙНОГО ВПЛИВУ

Ірина Миколаївна Берник

доктор технічних наук, професор

<https://orcid.org/0000-0002-1367-3058>,

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, Героїв Оборони, м. Київ, Україна

Ігор Олегович Драчук

аспірант

<https://orcid.org/0000-0003-0018-2871>

Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, Героїв Оборони, м. Київ, Україна

Анотація. Стабілізація нанодисперсних систем у рослинних емульсіях без додавання сторонніх агентів є складним фізико-хімічним завданням. Розуміння морфологічної трансформації компонентів конопляного ядра під впливом акустичних полів є ключем до створення термодинамічно стабільних харчових систем. У сучасній харчовій інженерії технологічні дисперсні середовища розглядаються як ієрархічно організовані системи, де стабільність має забезпечуватися за рахунок специфічних функцій власних компонентів сировини. Для конопляних емульсій критичним є розуміння потенціалу диспергування жирової фази та активації стабілізуючих властивостей білка едестину. Мета роботи полягає у теоретичному обґрунтуванні та розробці фізичної моделі морфологічної трансформації компонентів конопляної емульсії під дією акустичної кавітації для забезпечення її довготривалої кінетичної стійкості за рахунок використання внутрішніх ресурсів сировини. Розроблено фізичну модель, що описує динаміку руйнування жирових глобул під дією локальних градієнтів тиску та мікропотоків, що виникають при колапсі кавітаційних бульбашок. Описано морфологічний перехід системи від грубодисперсного до нанодисперсного стану. Процес супроводжується інтенсивним подрібненням жирових глобул та денатураційною активацією едестину, що призводить до розгортання його компактної глобулярної структури в амфіфільну форму. Навколо жирових крапель формується щільна в'язко-пружна білкова оболонка за рахунок адсорбції та утворення міжмолекулярних дисульфідних містків, що перешкоджає їх злиттю. Визначено умови кінетичної стійкості системи через формування структурованого адсорбційного шару білка едестину, який забезпечує стеричний та електростатичний бар'єр проти коалесценції. Вперше запропоновано фізичне обґрунтування стабілізації рослинних емульсій як результат морфологічної перебудови нанофаз під дією кавітації. Обґрунтовано умови агрегативної та кінетичної стійкості, що базуються на досягненні критичного термодинамічного порогу $V_{\max} \geq 20k_B T$ та домінуванні енергії теплового броунівського руху над гравітаційними силами ($k_B T \gg E_g$). Розроблена модель підтверджує, що створення стабільних функціональних напоїв з конопель вимагає застосування сучасних фізичних методів обробки, зокрема ультразвукових кавітаційних технологій, для управління наноструктурними процесами та реалізації концепції «чиста етикетка».

Ключові слова: конопляна емульсія, едестин, ультразвук, кавітація, фізична модель, морфологічна трансформація, кінетична стійкість, нанодисперсна фаза.

UDC 664.38:66.063.6:66.084:633.522

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.139>

PHYSICAL MODEL OF STABLE FOOD MATRIX FORMATION IN HEMP EMULSION UNDER ULTRASONIC CAVITATION

Iryna Berlyk

Doctor of Technical Sciences, Professor,

<https://orcid.org/0000-0002-1367-3058>,

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,

03041, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine

Igor Drachyk

Postgraduate Student,

<https://orcid.org/0000-0003-0018-2871>

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,

03041, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine

Abstract. Stabilizing nanodispersed systems in plant-based emulsions without the addition of external agents remains a complex physico-chemical challenge. Understanding the morphological transformation of hemp kernel components under the influence of acoustic fields is fundamental to creating thermodynamically stable food systems.

In modern food engineering, technological dispersed media are viewed as hierarchically organized systems in which stability is achieved through the specific functional properties of the raw material's endogenous components. For hemp emulsions, it is critical to determine the lipid phase's dispersion potential and the activation of the edestin protein's stabilizing properties.

The objective of this study is to develop and theoretically substantiate a physical model of the morphological transformation of hemp emulsion components under acoustic cavitation to ensure long-term kinetic stability by utilizing internal raw material resources.

A physical model has been formulated to describe the dynamics of lipid globule disruption under local pressure gradients and micro-jets generated by the collapse of cavitation bubbles. The morphological transition of the system from a coarse-dispersed to a nanodispersed state is described. This process is accompanied by intensive fragmentation of lipid globules and the denaturation activation of edestin, resulting in the unfolding of its compact globular structure into an amphiphilic form. A dense viscoelastic protein shell forms around lipid droplets through adsorption and the formation of intermolecular disulfide bridges, effectively preventing coalescence. The conditions for kinetic stability are defined by the formation of a structured adsorption layer of edestin, which provides both a steric and an electrostatic barrier against coalescence.

For the first time, a physical substantiation is proposed for the stabilization of plant-based emulsions as a result of nanophase morphological restructuring under cavitation. The conditions for aggregative and kinetic stability are substantiated by reaching a critical thermodynamic threshold and by the dominance of thermal Brownian motion energy over gravitational forces.

The developed model confirms that producing stable, functional hemp-based beverages requires the application of advanced physical processing methods, specifically ultrasonic cavitation technologies, to control nanoscale processes and realize the Clean Label concept.

Keywords: hemp emulsion, edestin, ultrasonic cavitation, physical model, morphological transformation, kinetic stability, nanodispersed phase.

ВСТУП. Сучасні глобальні тренди харчової індустрії демонструють стійке зміщення споживчого попиту в бік харчових продуктів із максимально натуральним складом. Концепція здорового харчування сьогодні нерозривно пов'язана з принципами «чистої етики» (clean labels). У цьому контексті виробництво рослинних аналогів молока є одним із найбільш динамічних сегментів ринку, що відповідає глобальним запитам на екологічність та функціональність продуктів (Beryuk, I., et al., 2025). Проте задоволення потреб споживачів у високій якості та стабільності продукції вимагає розробки інноваційних підходів, що дозволяють створювати стійкі системи виключно шляхом використання внутрішніх технологічних ресурсів сировини. Найбільш перспективним інструментом для вирішення цього завдання є ультразвукова кавітаційна обробка. Вона здатна трансформувати морфологію нативних компонентів на нанорівні, забезпечуючи самостабілізацію системи через денатураційну активацію білків та формування адсорбційних захисних оболонок навколо ліпідних нанокрапель.

Рослинні продукти визначили пріоритетний вектор розвитку сучасної харчової індустрії, яка прагне створювати більш сталі, екологічно чисті та здорові харчові продукти. Зростання інтересу до здорового харчування та рослинних дієт стимулювало трансформацію галузі, де розробка рослинних емульсій стала центральним вектором інновацій. Сучасні споживачі вимагають не лише функціональних аналогів молочних продуктів, а й дотримання принципів «чистої етикетки» (Clean Label), що передбачає відмову від синтетичних добавок на користь натуральних інгредієнтів та мінімально обробленої сировини. Стабілізація таких систем є складним інженерним завданням, оскільки рослинні білки та ліпіди мають відмінну молекулярну будову та функціональність у порівнянні з тваринними аналогами (Huang Y. et al, 2025; Kaczmarek D. et al, 2025; Sarkar A. et al, 2020).

Традиційний підхід досягнення стабілізації рослинних напоїв базується на використанні екзогенних гідрокоолоїдів, які додають до системи для запобігання седиментації нерозчинних часток та коалесценції жирових крапель (Yang H. et al, 2026). Вони у рослинних напоях формують міцну структурну матрицю, ефективним є взаємодія з білками через електростатичні сили (Mata, S. et al, 2025).

Поряд з технологічною ефективністю, використання екзогенних гідрокоолоїдів має низку проблем, що обмежують їх застосування в сучасних рецептурах. Одним із основних недоліків є негативний вплив на органолептичні характеристики харчових продуктів (Yang H. et al, 2026). Крім того, встановлено складність прогнозування реальної поведінки таких систем у складних матрицях. Проте, найбільш критичним фактором застосування деяких емульгаторів є їх вплив на здоров'я людей (Chassaing, B., et al, 2022; Naimi, S., et al, 2021).

Концепція «чиста етикетка» еволюціонувала з маркетингового ходу в фундаментальний стандарт якості. Фактично споживач асоціює натуральність з такими особливостями, як короткий список інгредієнтів, відсутність харчових добавок та пізнаваністю складових інгредієнтів (Liu, Y. et al, 2026; Cao Y. et al, 2023, Maruyama S. et al, 2021).

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ. Мета роботи полягає у теоретичному обґрунтуванні та розробці фізичної моделі морфологічної трансформації компонентів конопляної емульсії під дією акустичної кавітації для забезпечення її кінетичної стійкості за рахунок використання внутрішніх ресурсів сировини.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. Головним викликом для фахівців харчової галузі є досягнення технологічної стабільності без використання традиційних стабілізаторів, що особливо актуально для рослинних напоїв. Використання внутрішніх ресурсів сировини є відповіддю на сучасні виклики, та полягає у максимальній активації функціональних властивостей білків, ліпідів та

волокон, що природно містяться в рослинах (Jin, Y. et al, 2025).

Дослідженнями Lopez C. et al. (2024) встановлено, що рослинні білкові ізоляти часто містять значну частку ендогенних ліпідів (до 12% у горохових ізолятах), які раніше вважалися домішками. Механізм стабілізації за участю ендогенних ліпідів базується на їх перерозподілі під час емульгування, що дозволяє створювати стабільні системи без додавання зовнішнього лецитину.

Оскільки хімічна модифікація білків заборонена концепцією «чистої етикетки», інженери звернулися до біотехнологічних методів. Використання специфічних ферментів дозволяє змінити структуру білка, не залишаючи сторонніх речовин у готовому продукті (Lopez C. et al., 2024, McClements D.J, et al., 2021; Kovačević, J., et al., 2024).

Одним із напрямків концепції «чистої етикетки» в інженерії є створення емульсій Пікерінга, де замість розчинних молекул емульгаторів використовуються тверді колоїдні частинки, наприклад, нановолокна целюлози, мікрочастинки нерозчинного крохмалю, білкові наногелі або їх агрегати (Somayeh Taghian Dinani et al., 2023; Amine C. et al., 2014). Механізм дії полягає в незворотній адсорбції частинок на межі поділу фаз, що створює потужний стеричний бар'єр проти коалесценції (Tian Y. et al., 2023, Kirti Rawal et al., 2025).

Для досягнення високої стабільності рослинних емульсій часто недостатньо простого змішування. Використовуються високоенергетичні методи, які змінюють структуру біополімерів та розмір частинок.

Гомогенізація високого тиску є технологією для створення стабільних наноемульсій, що базується на дії сил зсуву, турбулентності та кавітації, що виникають при проходженні рідини через вузький клапан під тиском до 300–400 МПа (Mesa J, et al., 2020). Високий тиск призводить до часткової денатурації білків, як наслідок, підвищення їх поверхневої гідрофобності та покращена адсорбція.

Одним із найбільш перспективних напрямів у цій сфері є застосування високоінтенсивного ультразвуку, робота якого базується на явищі акустичної кавітації. Вивчення теоретичних засад впливу ультразвукових хвиль на рідкі харчові системи, аналіз фізичних ефектів кавітації та дослідження конформаційних змін макромолекул є критично важливими для розуміння потенціалу цієї технології. Вплив ультразвуку на рідкі середовища є складним багатофакторним процесом, що поєднує в собі механічні, термічні та хімічні аспекти (Mondal J, et al., 2021; Bernyk, I. M. et al., 2013; Nazarenko, I., et al., 2021; et al., Luhovskyi, O., 2021).

Розуміння цих аспектів дозволяє диференціювати вплив ультразвуку залежно від частоти та потужності. Низькочастотний ультразвук (20–100 кГц) частіше асоціюється з потужними механічними ефектами та теорії гарячих точок, тоді як високочастотні системи (понад 300 кГц) сприяють сонохімічним процесам (Bermudez-Aguirre, D., et al., 2022; Bernyk, I., et al., 2025).

Ці дані свідчать про те, що акустична кавітація є потужним, але водночас гнучким інструментом. Змінюючи параметри обробки (амплітуду, час, температуру), можна досягти як легкого розгортання білка для покращення його розчинності, так і глибокої модифікації для створення нових текстур (Zhu X, et al., 2024; Heloisa de Fátima Mendes Justino, et al., 2024; Yuanqing, H., et al., 2020).

Фізична модель системи сприятиме розумінню взаємодії кавітаційного поля з дисперсною системою. Модель обґрунтовує особливості утворення, розвитку та сплескування кавітаційних бульбашок, а також фізико-хімічних ефектів та результатів їх дії, які безпосередньо відповідають за подрібнення жирової фази. Важлива оцінка кавітаційного впливу на морфологічні зміни дисперсної фази емульсії, зокрема білкових речовин. Кінетична стійкість системи формується за використання власних ресурсів шляхом створення захисного адсорбційного шару на поверхні подрібнених жирових крапель за участю молекул едестину. Інструментальні вимірювання

ключових характеристик отриманої емульсії виступають кількісними індикаторами ефективності запропонованих техніко-технологічних рішень.

Застосування акустичної кавітації відповідає принципам "зеленої технології". Використання ультразвуку зменшує температурні навантаження на продукт, зберігаючи вітаміни та біоактивні пептиди (Antunez-Medina, J. R., et al., 2025; Luhovskyi, O. F., et al., 2010). Кавітація, руйнуючи клітинні мембрани мікроорганізмів та інактивуєчи небажані ферменти, подовжує термін придатності продуктів (Bерnyk, I. M. et al., 2019; Luhovskyi, O. F., et al., 2022).

Таким чином, сучасний вектор розвитку харчової індустрії поєднує сталість, функціональність та принципи концепції «чиста етикетка». Глибоке розуміння міжфазних взаємодій у поєднанні з впровадженням «м'яких» методів обробки є ключовим для збереження цінності рослинних ресурсів. Зокрема, використання ультразвукової кавітації відкриває шлях до створення продуктів нового покоління, що відповідають високим стандартам якості та екологічної відповідальності.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Методологія дослідження базується на системному підході, згідно з яким конопляна емульсія розглядалася як ієрархічно організована система, де стабільність забезпечується специфічними функціями її власних нативних компонентів. У роботі застосовано методи фізичного та математичного моделювання динаміки системи «ультразвуковий кавітатор - емульсія». Об'єктами моделювання були морфологічні структури насіння конопель (ліпідні тіла та глобули едестину) та стабільна нанодисперсна фаза. Оцінку кінетичної та агрегативної стійкості системи здійснено за використання закону Стокса та розширеної теорії ДЛФО для розрахунку балансу сил електростатичного та стеричного відштовхування, і молекулярного притягання Ван-дер-Ваальса.

Об'єктом дослідження є процеси морфологічної трансформації та структурної модифікації компонентів конопляної емульсії під дією ультразвукової кавітації для формування її довготривалої кінетичної стійкості.

Предметом дослідження є фізико-хімічні закономірності взаємодії в системі «ультразвукове поле - конопляна емульсія», що включають наноструктурне подрібнення жирової фази, активацію білка едестину та формування електростеричних захисних бар'єрів на межі поділу фаз.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Для побудови узагальненої фізичної моделі морфологічної трансформації та кінетичної стабілізації нанодисперсних фаз конопляної емульсії в умовах ультразвукового кавітаційного впливу доцільно розглянути послідовність етапів їх перетворення (рис. 1).

Представлена модель відображає системний підхід, де кожен з етапів є надзвичайно важливим для формування стабільної системи. Вона демонструє перехід від аналізу вихідних морфологічних чинників ядра насіння конопель до синтезу наносистеми з прогнозованими властивостями через цілеспрямований акустомеханічний вплив. Такий підхід забезпечує досягнення необхідного балансу сил міжмолекулярної взаємодії, що є необхідною умовою для забезпечення агрегативної та кінетичної стійкості продукту.

Відповідно до запропонованої блок-схеми детально розглянемо етапи формування стабільної харчової матриці конопляної емульсії в умовах інтенсивного акустомеханічного впливу.

Етап I. Дослідження початкового стану емульсійної системи. У нативному стані ключові макронутрієнти насіння конопель представлені просторово ізольованими структурами. Основна частина ліпідів зосереджена в сім'ядолях у формі олеосом, оточених фосфоліпідною мембраною

з білками-олеозинами. Білкові речовини, представлені переважно едестином, які локалізовані у протеїнових тілах. Клітинні стінки, що складаються з целюлози, геміцелюлози та пектину, забезпечують структурну цілісність макроелементів у їхньому нативному стані.



Рисунок 1. Блок-схема узагальненої фізичної моделі конопляної емульсії

Джерело: розроблено авторами

За технологічного впливу, спрямованого на підготовку компонентів до виробництва рослинного напою, відбуваються суттєві зміни природного стану сировини. Зокрема, внаслідок механічного подрібнення та диспергування у водному середовищі система переходить у стан грубої дисперсії. Дисперсна фаза такої гетерогенної системи представлена краплями конопляної олії, розмір яких перевищує 10 мкм, що за умов дії гравітаційних сил зумовлює швидке розшарування.

Водночас у водному дисперсійному середовищі перебувають і решта екстрагованих речовин, зокрема нативні глобули едестину. Едестин відносять до високомолекулярного білка, що має олігомерну будову та складається з шести субодиниць. Кожен гексамер має молекулярну масу близько 50 кДа та утворений кислим і основним поліпептидними ланцюгами, які сполучені між собою дисульфідним (–S–S–) зв'язком. У такому стані едестин має компакту конфігурацію.

За своєю просторовою архітектурою макромолекула едестину наближена до сплюснутого сфероїда. Специфіка її будови полягає у чіткій диференціації на внутрішню область з локалізованими неполярними амінокислотними радикалами та зовнішній шар з полярними групами, які забезпечують взаємодію з водним середовищем. У нативному стані білка його гідрофобні складові розміщені всередині глобули. Така ізоляція обмежує можливість контакту гідрофобних ділянок із жирною фазою, що зумовлює низьку початкову емульгуючу здатність едестину без додаткової активації.

Загалом, така дисперсна система є термодинамічно нестійкою. Це пов'язано з високим рівнем надлишкової вільної енергії Гіббса на межі поділу фаз «олія - вода». Прагнення системи до мінімізації цього енергетичного потенціалу без зовнішнього стабілізуючого впливу призводить до агрегації частинок та фазового розділення емульсії.

Стан системи можна описати рівнянням:

$$\Delta G = \sigma \cdot \Delta A, \tag{1}$$

де ΔG – надлишкова вільна енергія системи; σ – поверхневий натяг на межі поділу фаз; ΔA – загальна площа поверхні розділення фаз.

Значний поверхневий натяг та велика питома площа поверхні жирових крапель створює умови нестабільності емульсії. Система прагне до мінімізації вільної енергії Гіббса шляхом злиття крапель, як наслідок відбувається її розшарування.

Етап II. Динамічна система «ультразвук - емульсія». Застосування ультразвукової обробки забезпечує перетворення акустичної енергії у механічну роботу, яка направлена на технологічне середовище. Високоенергетичний вплив та дія фізичних факторів, що виникають безпосередньо в об'ємі суміші, сприяють забезпеченню технологічного впливу, який переходить із макрорівня на мікро- та нанорівні. Ключовим фактором цього процесу є акустична кавітація. Під час сплескування кавітаційних бульбашок вивільняється енергія, що супроводжується виникненням локальних ударних хвиль та кумулятивних мікроструменів зі швидкістю 100-400 м/с, що зумовлює потужні імпульсні навантаження на компоненти дисперсного середовища. Також, на ефективність обробки суттєво впливають гідродинамічні напруження зсуву та ряд супутніх фізико-хімічних явищ. Поряд із механічною дією проявляється термомеханічний ефект, спричинений появою ділянок із критично високою температурою в місцях сплескування кавітаційних бульбашок. Такі локальні температурні стрибки забезпечують трансформацію нативної глобулярної структури білка. У результаті гідрофобні ділянки едестину стають доступними для активної взаємодії з ліпідною фазою.

Етап 3. Морфологічні зміни дисперсної фази. Вплив зовнішнього акустичного поля забезпечує диспергування жирових кульок емульсії. Ультразвукова обробка формує зони високої турбулентності та значні градієнти швидкості, енергія яких суттєво переважає сили поверхневого натягу ліпідної фази. Унаслідок цього жирові краплі деформуються та руйнуються, як наслідок, зменшення їх розміру. Кінцевий ступінь подрібнення жирової фази має пряму залежність від обраних технологічних параметрів ультразвукового впливу.

Одночасно з трансформацією жирових кульок відбувається також вплив на білкову фракцію системи. Під дією інтенсивних гідродинамічних навантажень та локального термічного фактора нативний білок едестин зазнає денатураційної активації. Гідродинамічні ефекти кавітації спричиняють розрив слабких нековалентних зв'язків, наприклад, водневих, іонних та гідрофобних взаємодій. Це змінює конформацію білкової молекули. Як наслідок, великий білковий комплекс розпадається на менші олігомери та окремі мономери. Фактично відбувається перетворення структури з компактної глобулярної на розгорнуту.

Таким чином, відбувається два паралельних процеси трансформації компонентів дисперсної фази технологічного середовища. Розгортання білкової молекули є необхідною умовою формування емульгуючої його здатності, за рахунок доступу до внутрішніх гідрофобних ділянок, які у нативному стані сконцентровані у ядрі глобули. Розгорнуті ланцюги білка є необхідними елементами, які взаємодіють із новоствореною поверхнею жирових нанокрапель.

Етап 3. Стабілізація жирових кульок модифікованими молекулами едестину.

Цей етап характеризується перебігом трьох умовно послідовних процесів: зниженням міжфазного натягу, формуванням структурно-механічного бар'єру та наступною електростеричною стабілізацією.

Оскільки система «олія-вода» вирізняється високою вільною енергією на межі поділу фаз, вона термодинамічно прагне до її мінімізації шляхом скорочення площі міжфазного контакту. В той же час, зростання коефіцієнта дифузії білка, зумовлене зниженням його молекулярної маси забезпечує інтенсивну адсорбцію гідрофобних молекул на поверхні жирових крапель.

Для розгорнутої молекули едестину характерно збільшення активності вільних сульфгідрильних груп (-SH), які вступають у реакції окиснення з сусідніми молекулами. Це призводить до утворення міжмолекулярних дисульфідних містків (-S-S-), унаслідок чого

навколо жирових крапель формується суцільна в'язко-пружна білкова оболонка, що забезпечує структурну стабільність системи.

Таким чином, за технологічного впливу ультразвукової кавітаційної обробки відбувається модифікація макромолекул едестину, що призводить до формування щільної оболонки навколо жирових крапель, яка перешкоджає їх злиттю. Такі наночастинки характеризуються підвищеною середньою щільністю, що, як наслідок, сповільнює розшарування емульсії. Заряджені групи едестину на поверхні жирових кульок створюють однойменний заряд, що формує умови відштовхування крапель одна від одної.

Етап 4. Обґрунтування критеріїв кінетичної стійкості нанодисперсної системи конопляної емульсії в умовах кавітаційного впливу.

Стабільність системи базується на синергії двох факторів: мінімізації швидкості розшарування (кінетичний аспект) та створенні енергетичного бар'єру (енергетичний аспект).

Кінетична стійкість системи визначається швидкістю гравітаційного розшарування, яка описується законом Стокса:

$$v = \frac{2R^2g(\rho_p - \rho_{ж})}{9\eta}, \quad (2)$$

де R – радіус частинки; g – прискорення вільного падіння; $\rho_p, \rho_{ж}$ – густина фаз; η – динамічна в'язкість.

Ультразвукова кавітація забезпечує ефективне диспергування жирової фази, що призводить до квадратичного зниження швидкості гравітаційного розшарування.

За умови досягнення нанорозміру часток, головною проблемою для стабільності системи постає агрегація жирових кульок. За використання розширеної теорії ДЛФО енергетичний стан системи описується балансом сил:

$$V_{total} = (V_R + V_S) - |V_A|, \quad (3)$$

де V_{total} – сумарна потенційна енергія взаємодії; V_R – енергія електростатичного відштовхування; V_S – енергія просторового відштовхування; V_A – енергія молекулярного притягання.

Розглянемо енергії представлені в залежності 3, та оцінимо їх вплив на енергетичний стан системи.

Енергія молекулярного притягання для двох сферичних частинок однакового радіуса, що знаходяться на близькій відстані одна від одної за теорією Гамакера описується рівнянням:

$$V_A = -\frac{AR}{12H}, \quad (4)$$

де A – стала Гамакера, Дж; R – радіус жирової краплі, м; H – відстань між поверхнями крапель. Знак «-» вказує на спрямування енергії на притягування.

Енергія зумовлена дисперсійними силами Ван-дер-Ваальса, що виникають за хаотичного руху молекул та утворення диполів, які індукують появу аналогічних диполів у сусідній краплі, що призводить до виникнення сили взаємного притягання. Величина рівня енергії стрімко зростає за умови наближення крапель одна до одної за гіперболічною залежністю. За умови перевищення значення енергії електростатичного відштовхування краплі зливаються. За використання ультразвукової кавітаційної обробки розмір жирових кульок суттєво зменшується. Оскільки V_A прямо пропорційна радіусу, енергія притягання між частинками суттєво зменшується порівняно з грубодисперсною емульсією. При цьому, за умови зниження величини енергії притягання між

частинками, їхня кількість в одиниці об'єму зростає експоненціально. Як наслідок, середня відстань між ними скорочується, що потребує термінового створення захисних оболонок з едестину для компенсації сил Ван-дер-Ваальса.

Енергію електростатичної взаємодії V_R опишемо через потенціал поверхні:

$$V_R = 2\pi\epsilon\epsilon_0 R\zeta^2 \ln(1 + \exp(-kH)), \quad (5)$$

де ϵ, ϵ_0 - діелектрична проникність середовища та вакууму; ζ - електрокінетичний потенціал поверхні краплі (В); $1/k$ - товщина подвійного електричного шару; R - радіус частинки; H - відстань між частинками.

Енергія електростатичної взаємодії виникає шляхом адсорбування білків на межі поділу фаз та формування навколо жирових крапель оболонок із поверхневим зарядом. Це суттєво підвищує за модулем електрокінетичний потенціал поверхні краплі системи. Оскільки всі краплі в емульсії мають однойменний заряд, при їх зближенні відбувається відштовхування, що не дозволяє краплям підійти на відстань, де почнуть домінувати сили притягання Ван-дер-Ваальса.

Енергію просторового відштовхування за моделлю Маккора можна представити як функцію від товщини адсорбційного шару:

$$V_S = \frac{100Rk_B T C^{3/2}}{L} \exp\left(-\frac{\pi H}{L}\right), \quad (6)$$

де L - товщина білкового захисного шару на поверхні краплі (м); C - ступінь покриття поверхні білком; k_B - стала Больцмана (Дж/К); T - абсолютна температура (К).

Стеричне відштовхування виникає у зв'язку з формуванням навколо жирових крапель шару з адсорбованих макромолекул білка. Коли жирові краплі наближаються одна до одної на відстань, меншу за подвійну товщину білкового шару, їхні адсорбційні оболонки починають перекриватися. У зоні контакту різко зростає локальна концентрація сегментів білкових ланцюгів, як наслідок, виникають умови за яких система прагне вирівняти концентрацію за використання надходження молекул води. Виникає осмотичний тиск, який відділяє краплі одна від одної.

Відповідно до вищезначеного умова стабільності базується на співвідношенні сил у системі, описується взаємопов'язаними нерівностями агрегативної та кінетичної стійкості.

Умову агрегативної стійкості представимо у вигляді залежності:

$$V_{max} = (V_R + V_S) - |V_A| \geq 20k_B T, \quad (7)$$

Агрегативної стійкості система досягає за умови досягнення критичного термодинамічного порогу, визначеного розширеною теорією ДЛФО (McClements D. J., et al, 2015). Тобто сума електростатичного відштовхування та стеричного опору білкової оболонки едестину має бути в 20 разів вищою за енергію теплового зіткнення часток, що гарантує цілісність оболонок за можливих випадкових ударів частинок одна об одну.

Умову кінетичної стійкості представимо у вигляді залежності:

$$k_B T \gg E_g, \quad (8)$$

Кінетична стійкість конопляної емульсії ґрунтується на стані седиментаційної рівноваги, за якого енергія теплового броунівського руху значно перевищує гравітаційне осадження за законом Стокса та гарантує однорідність рослинного аналога молока протягом усього терміну зберігання.

Результатом такого комплексного підходу є узагальнена структурно-логічна схема стабілізації колоїдної системи напою з насіння конопель, яка наочно відображає ієрархію переходів від первинних параметрів обробки до формування кінетично стійкої наносистеми з заданими властивостями (рис. 2).

Встановлення взаємозв'язку між вхідними технологічними чинниками та механізмами мікроструктурних змін дає змогу не лише контролювати процес кавітації, а й прогнозувати властивості готового рослинного напою.

Критичний аналіз сучасного стану технологій виробництва рослинних аналогів молока свідчить про те, що традиційні методи обробки не дозволяють повною мірою реалізувати внутрішній стабілізуючий потенціал сировини (Bernyk, et al, 2025). Встановлено, що за звичайної обробки ключові макронутрієнти рослинної сировини, зокрема і, конопляного ядра залишаються просторово ізольованими. Це призводить до формування термодинамічно нестабільної грубодисперсної системи, яка схильна до швидкого гравітаційного розшарування.

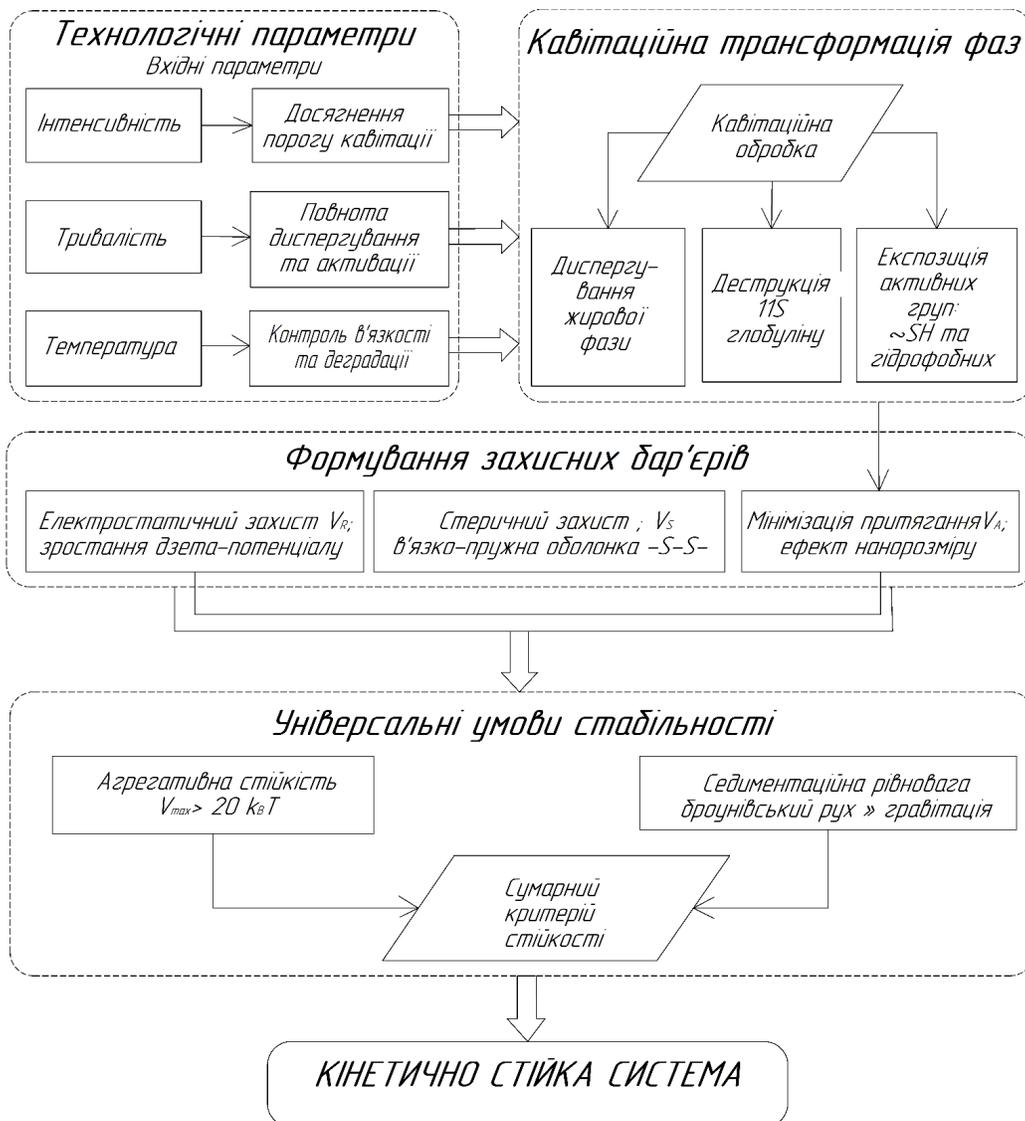


Рисунок 2. Узагальнена структурно-логічна схема стабілізації колоїдної системи напою з насіння конопель

Джерело: розроблено авторами

Сучасний розвиток харчової індустрії диктує перехід до концепції «чистої етикетки». Проте створення стабільних рослинних емульсій без екзогенних гідроколоїдів є складним інженерним завданням через суттєві відмінності у структурі рослинних та тваринних білків.

Перспективи подальшого розвитку галузі лежать у площині персоналізованого дизайну харчових матриць, де кожен компонент сировини виконує кілька технологічних ролей, забезпечуючи синергію, стабільність та високу біологічну цінність. Харчові емульсії не можна розглядати як прості бінарні суміші. Це складні гетерогенні матеріали, чії властивості (смак, текстура, стабільність) є результатом взаємодій на нано-, мікро- та макроструктурному просторових рівнях (Kim T.I., et al., 2025; Mahajan P, et al., 2023; Tian Y, et al., 2023; Jie, Y., et al., 2022; Yiu, C. C.-Y., et al., 2023). У сучасній харчовій інженерії така ієрархічність використовується для точного конструювання властивостей харчового продукту (Kaczmarek D, et al., 2025; Günan, K. T., et al., 2025).

Результати нашого дослідження демонструють, що розв'язання цієї проблеми лежить у площині цілеспрямованого управління морфологією нативних компонентів сировини через високоенергетичний акустичний вплив.

Отримані результати свідчать про те, що процес стабілізації конопляної емульсії під дією ультразвуку не є звичайним подрібненням, а являє собою керовану морфологічну перебудову фаз. Ключова відмінність запропонованої моделі від традиційних методів гомогенізації полягає у синергії механічного руйнування та біохімічної активації внутрішніх ресурсів сировини.

Ефективність акустичної кавітації як інструменту структурної модифікації визначається здатністю концентрувати значну енергію в обмеженому просторі. Колапс кавітаційних бульбашок породжує три основні фізичні явища, що безпосередньо впливають на структуру біополімерів: ударні хвилі, мікрострумені та локальні термічні ефекти (Luhovskyi, O. F., et al., 2022).

Якщо кавітаційна бульбашка колапсує поблизу твердої поверхні процес стає асиметричним. У білкових розчинах мікрострумені сприяють розкручуванню поліпептидних ланцюгів та експозиції внутрішніх функціональних груп (Pandit A.V, et al., 2021; Antunez-Medina, J. R., et al., 2025).

Хоча загальна температура в ультразвуковому реакторі може залишатися помірною, у мікрооб'ємі колапсу бульбашки виникають короткочасні теплові стрибки. Термічна енергія та гідроксильні радикали сприяє подоланню активаційного бар'єру для переходу білка з нативної конформації у денатуровану (Antunez-Medina, J. R., et al., 2025). Ці ефекти діють синергічно. Наприклад, ударні хвилі спочатку послаблюють структуру білкового агрегату, а мікрострумені та радикали завершують процес, переводячи білок у більш розчинний та функціонально активний стан (Yuanqing, H., et al., 2020; Heloisa de Fátima Mendes Justino, et al., 2024).

Особливого значення набуває вплив кавітації на білок едестин - основний компонент конопляного насіння. У науковій літературі білок едестин традиційно характеризується як олігомерний 11S глобулін із компактною гексамерною структурою. Більшість існуючих досліджень розглядають білок едестин як пасивний компонент із низькою емульгувальною здатністю через його компактну глобулярну конфігурацію. У нативному стані гідрофобне ядро едестину ізольоване гідрофільною оболонкою, що унеможливує його ефективну адсорбцію на межі поділу фаз (Tang, C. H., et al., 2006; Malomo, S. A., et al., 2006; Wang, X. S., et al., 2008).

Відповідно до досліджень Kaczmarek, D. et al. (2025) рослинні білки мають природну амфіфільну структуру. Проте, на відміну від еластичних молочних білків, рослинні створюють навколо крапель жиру більш жорстку оболонку. Для підвищення стабільності в рамках концепції «чистої етикетки» використовується метод комбінування білків з різних джерел. Наприклад, суміш білків гороху та сироватки або різних рослинних білків може виявляти синергію,

формуючи міжфазні шари та запобігати кремуванню жирових крапель (Lopez C. et al., 2024).

Проте, високоенергетичний вплив ультразвукового поля в кавітаційному режимі, зокрема локальні температурні стрибки та високошвидкісні мікрострумені дозволяє подолати енергетичний бар'єр денатурації. Це призводить до розгортання молекули та експозиції внутрішніх гідрофобних ділянок. Важливим аспектом обговорення є те, що демаскування вільних сульфідних (-SH) груп ініціює реакції окиснення між сусідніми молекулами, що веде до утворення міжмолекулярних дисульфідних містків. Саме -S-S- зшивання забезпечує формування в'язко-пружної оболонки, яка фізично перешкоджає коалесценції крапель.

Аналіз енергетичного стану системи згідно з розширеною теорією ДЛФО (McClements, D. J., et al 2015; Damodaran, S., et al 2017) показує, що сформовані білкові шари забезпечують поєднання двох типів захисту електростатичне відштовхування за рахунок високого електродинамічного потенціалу одноіменно заряджених груп білка на поверхні крапель та стеричний бар'єр за виникнення осмотичного тиску при перекритті білкових оболонок.

Обґрунтування агрегативної стійкості наносистеми базується на балансі сил відштовхування та притягання. Встановлено, що формування білкових оболонок призводить до різкого зростання електродинамічного потенціалу. За умови адсорбції активованого едестину сумарна енергія електростатичного та стеричного відштовхування задовольняє критичну умову $V_{\max} \geq 20k_B T$. Це означає, що енергетичний бар'єр є достатньо високим, щоб протидіяти силам молекулярного притягання Ван-дер-Ваальса, які стрімко зростають при зближенні наночастинок.

Одним із найважливіших результатів є обґрунтування кінетичної стабільності через домінування броунівського руху. При переході системи від грубої дисперсії до нанодисперсного стану відбувається квадратичне зниження швидкості осадження згідно із законом Стокса. За умови досягнення нанорозміру енергія теплового руху частинок стає значно вищою за роботу гравітаційних сил. Це дозволяє системі перебувати у стані динамічної рівноваги.

Отже, стабільність конопляної наноемulsії базується на виконанні двох фундаментальних фізичних умов агрегативної та кінетичної стійкості. Агрегативна стійкість, як сумарна енергія відштовхування задовольняє критичну нерівність $V_{\max} \geq 20k_B T$, що гарантує цілісність оболонок при випадкових теплових зіткненнях часток. Умова кінетичної стійкості за рахунок наноструктурного диспергування за якого енергія броунівського руху починає домінувати над гравітаційним осадженням за законом Стокса.

На відміну від існуючих підходів, що базуються на додаванні екзогенних гідроколоїдів (гуарова камедь, карагінан), які можуть негативно впливати на здоров'я та органолептичні властивості, представлена модель доводить, що керована фізична деструкція та морфологічна трансформація компонентів на мікро- та нанорівнях дозволяють отримати самостабілізовану систему, яка зберігає однорідність протягом терміну зберігання.

ВИСНОВКИ. Розроблено та теоретично обґрунтовано узагальнену фізичну модель морфологічної трансформації конопляної емульсії під дією ультразвуку, яка пояснює механізм формування стійкої системи без використання сторонніх добавок. Це дозволяє забезпечити кінетичну стабільність напою, використовуючи лише внутрішній ресурсний потенціал насіння конопель.

Встановлено, що кінетична стабільність конопляної емульсії досягається завдяки інтенсивному диспергуванню жирової фази та модифікації білка едестину під дією ультразвукової кавітації. Доведено, що денатураційна активація едестину сприяє вивільненню сульфгідрильних груп та утворенню міжмолекулярних дисульфідних містків, що призводить до формування навколо жирових крапель суцільної в'язко-пружної оболонки.

Обґрунтовано агрегативну стабільність напою через виконання умови розширеної теорії ДЛФО $V_{\max} \geq 20k_B T$ та підтверджено його седиментаційну стійкість, зумовлену домінуванням енергії теплового броунівського руху над гравітаційними силами згідно із законом Стокса.

Подяки. Немає.

Конфлікт інтересів. Немає.

References

- Amine, C., Dreher, J., Helgason, T., & Tadros, T. (2014). Investigation of emulsifying properties and emulsion stability of plant and milk proteins using interfacial tension and interfacial elasticity. *Food Hydrocolloids*, 39, 180–186. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.01.001>
- Antunez-Medina, J. R., et al. (2025). Application of ultrasound in proteins. *Processes*, 13(6), 1646. <https://doi.org/10.3390/pr13061646>
- Bermudez-Aguirre, D., & Niemira, B. A. (2022). Pasteurization of foods with ultrasound: The present and the future. *Applied Sciences*, 12(20), 10416. <https://doi.org/10.3390/app122010416>
- Bernyk, I. M. (2013). Intensification of technological processes for food media processing. *Vibratsii v tekhnitsi ta tekhnolohiiakh*, (3), 109–115.
- Bernyk, I. M. (2019). An innovative approach to obtaining high-quality raw milk. *Tekhnika, enerhetyka, transport APK*, (3), 46–55. <https://doi.org/10.37128/2520-6168-2019-3-6>
- Bernyk, I., & Drachyk, I. (2025). Assessment and analysis of methods for obtaining plant-based milk analogues. *Human and Nation's Health*, 3(3), 137–148. <https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2025.137>
- Bernyk, I., & Drachyk, I. (2025). Theoretical aspects of the energy component of ultrasonic emulsion dispersion. *Human and Nation's Health*, 3(4), 113–124. <https://doi.org/10.31548/humanhealth.4.2025.113>
- Cao, Y., & Miao, L. (2023). Consumer perception of clean food labels. *British Food Journal*, 125(2), 433–448. <https://doi.org/10.1108/BFJ-03-2021-0246>
- Chassaing, B., Cassadante, J., Nicolas, S., Millman, S., Hillani, R., Ji, J., Walker, M. E., & Gewirtz, A. T. (2022). Randomized controlled-feeding study of dietary emulsifier carboxymethylcellulose reveals detrimental impacts on the gut microbiota and metabolome. *Gastroenterology*, 162(3), 743–756. <https://doi.org/10.1053/j.gastro.2021.11.006>
- Damodaran, S., & Parkin, K. L. (2017). *Fennema's Food Chemistry* (5th ed.). CRC Press.
- Günan, K. T., & Ömeroğlu, P. Y. (2025). Evaluation of plant-based milks in vegan muffins: Functional, structural, rheological and nutritional characterization. *Foods*, 14(23), 3989. <https://doi.org/10.3390/foods14233989>
- Huan, Y., et al. (2020). Ultrasound pretreatment increases the bioavailability of dietary proteins. *Food Biophysics*, 15, 409–415. <https://doi.org/10.1007/s11483-020-09634-y>
- Huang, Y., Li, C., & McClements, D. J. (2025). Recent advances in plant-based emulsion gels: Preparation, characterization, applications, and future perspectives. *Gels*, 11(8), 641. <https://doi.org/10.3390/gels11080641>
- Jie, Y., & Chen, F. (2022). Progress in the application of food-grade emulsions. *Foods*, 11(18), 2883. <https://doi.org/10.3390/foods11182883>
- Jin, Y., & Adhikari, A. (2025). Recent developments and applications of food-based emulsifiers from plant and animal sources. *Colloids and Interfaces*, 9(5), 61. <https://doi.org/10.3390/colloids9050061>

- Justino, H. F. M., et al. (2024). Exploring ultrasound-assisted technique for enhancing techno-functional properties of plant proteins. *International Journal of Food Science and Technology*, 59(1), 498–511. <https://doi.org/10.1111/ijfs.16673>
- Kaczmarek, D., Pokora-Carzynska, M., Juszczak, L., Jamroz, E., & Kapusniak, J. (2025). Plant proteins as alternative natural emulsifiers in food emulsions. *Foods*, 14(24), 4291. <https://doi.org/10.3390/foods14244291>
- Kim, T. I., Choi, H. W., & Hahn, J. (2025). Complementary roles of cellulose nanofiber and soy protein isolate for clean-label stabilization of plant-based emulsions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 70385. <https://doi.org/10.1002/jsfa.70385>
- Kovačević, J., Bechtold, T., & Pham, T. (2024). Plant-based proteins and their modification and processing for vegan cheese production. *Macromol*, 4(1), 23–41. <https://doi.org/10.3390/macromol4010002>
- Liu, Y., Keefer, H. M., Watson, M., Best, A. R., & Drake, M. (2026). Clean label, complete, and sustainable: What do consumers know about protein products? *Journal of Dairy Science*, 109(2), 1143–1159. <https://doi.org/10.3168/jds.2025-27311>
- Lopez, C., Weber, M., Rabesona, H., Pérez, J., Artzner, F., & Bizien, T. (2024). Emulsions stabilized by pea protein-rich ingredients as an alternative to dairy proteins for food sustainability: Unveiling the key role of pea endogenous lipids in the surface-induced crystallization of milk fat. *Current Research in Food Science*, 9, 100921. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2024>
- Luhovskiy, O. F., & Bernyk, I. M. (2010). Ultrasonic cavitation apparatus for the implementation of environmentally safe technology for pectin extraction from secondary plant raw materials. *Visnyk NTUU "KPI". Seriya Mashynobuduvannia*, (58), 82–86.
- Luhovskiy, O. F., Gryshko, I. A., Zilinskyi, A. I., Shulha, A. V., Movchaniuk, A. V., & Bernyk, I. M. (2022). Ultrasonic cavitation technologies: Disinfection and filtration. Kushnir Yu. V.
- Luhovskiy, O. F., Shulha, A. V., Bernyk, I. M., Gryshko, I. A., Movchaniuk, A. V., & Zilinskyi, A. I. (2022). Ultrasonic technological processes: Spraying and extraction. Kushnir Yu. V.
- Luhovskiy, O., Bernyk, I., Gryshko, I., Abdulina, D., & Zilinskyi, A. (2021). Mobile equipment for ultrasonic cavitation inactivation of microorganisms in the liquid environment. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 24, 272–281. https://doi.org/10.1007/978-3-030-59509-8_24
- Mahajan, P., Bera, M. B., & Prasad, K. (2023). Food physics insight: the structural design of foods. *Journal of Food Science and Technology*, 60(6), 1643–1655. <https://doi.org/10.1007/s13197-022-05400-9>
- Malomo, S. A., He, R., & Aluko, R. E. (2014). Structural and Functional Properties of Hemp Seed Protein Products. *Journal of Food Science*, 79(8), C1512–C1521. <https://doi.org/10.1111/1750-3841>.
- Maruyama, S., Streletskaia, N. A., & Lim, J. (2021). Clean label: Why this ingredient but not that one? *Food Quality and Preference*, 87, 104062. <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.104062>
- Mata, S., Maté, J. I., & Angós, I. (2025). Combined effects of carrageenan and konjac gums on the physicochemical properties of a plant-based smoked salmon analog. *Foods*, 14(21), 3793. <https://doi.org/10.3390/foods14213793>
- McClements, D. J. (2015). *Food emulsions: Principles, practices, and techniques* (3rd ed.). CRC Press.
- McClements, D. J., & Grossmann, L. (2021). The science of plant-based foods: Constructing next-generation meat, fish, milk, and egg analogs. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20(4), 4049–4100. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12771>
- Mesa, J., Hineostroza-Córdoba, L. I., Barrera, C., Seguí, L., Betoret, E., & Betoret, N. (2020). High homogenization pressures to improve food quality, functionality and sustainability. *Molecules*, 25(14), 3305. <https://doi.org/10.3390/molecules25143305>

- Mondal, J., Lakkaraju, R., Ghosh, P., & Ashokkumar, M. (2021). Acoustic cavitation-induced shear: a mini-review. *Biophysics Reviews*, 13(6), 1229–1243. <https://doi.org/10.1007/s12551-021-00896-5>
- Naimi, S., Viennois, E., Gewirtz, A. T., & Chassaing, B. (2021). Direct impact of commonly used dietary emulsifiers on human gut microbiota. *Microbiome*, 9, 66. <https://doi.org/10.1186/s40168-020-00996-6>
- Nazarenko, I., & Bernyk, I. (2021). Research of the processes of acoustic cavitation technology for processing dispersed media. In *Dynamic processes in technological technical systems* (pp. 94–109). <https://doi.org/10.15587/978-617-7319-49-7.ch6>
- Pandit, A. V., Sarvothaman, V. P., & Ranade, V. V. (2021). Estimation of chemical and physical effects of cavitation by analysis of cavitating single bubble dynamics. *Ultrasonics Sonochemistry*, 77, 105677. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105677>
- Rawal, K., Annamalai, P. K., Bhandari, B., & Prakash, S. (2025). Engineering plant-based Pickering emulsions as highly stable dairy cream alternatives using a binary mixture of particle stabilisers. *Food Hydrocolloids*, 159, 110604. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2024.110604>
- Sarkar, A., & Dickinson, E. (2020). Sustainable food-grade Pickering emulsions stabilized by plant-based particles. *Current Opinion in Colloid & Interface Science*, 49, 69–81. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2020.04.004>
- Somayeh Taghian Dinani, S. T., Zhang, Y., Vardhanabhuti, B., & van der Goot, A. J. (2023). Enhancing textural properties in plant-based meat alternatives: The impact of hydrocolloids and salts on soy protein-based products. *Current Research in Food Science*, 7, 100571. <https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100571>
- Tang, C. H., Ten, Z., Wang, X. S., & Yang, X. Q. (2006). Physicochemical and functional properties of hemp (*Cannabis sativa* L.) protein isolate. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 54(23), 8945–8950. <https://doi.org/10.1021/jf0619176>
- Tian, Y., Sun, F., Wang, Z., Yuan, C., Wang, Z., Guo, Z., & Zhou, L. (2023). Research progress on plant-based protein Pickering particles: Stabilization mechanisms, preparation methods, and application prospects in the food industry. *Food Chemistry: X*, 21, 101066. <https://doi.org/10.1016/j.fochx.2023.101066>
- Wang, X. S., Tang, C. H., Yang, X. Q., & Gao, W. R. (2008). Characterization, amino acid composition and in vitro digestibility of hemp (*Cannabis sativa* L.) proteins. *Food Chemistry*, 107(1), 11–18. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.064>
- Yang, H., Hua, C. C., & Huang, P. H. (2026). Effect of xanthan, guar, and carrageenan gums on the physicochemical properties of hypoallergenic pea protein-based dysphagia-friendly matrices. *Foods*, 15(2), 284. <https://doi.org/10.3390/foods15020284>
- Yiu, C. C.-Y., Liang, S. W., Mukhtar, K., Kim, W., Wang, Y., & Selomulya, C. (2023). Food emulsion gels from plant-based ingredients: Formulation, processing, and potential applications. *Gels*, 9(5), 366. <https://doi.org/10.3390/gels9050366>
- Zhu, X., et al. (2024). Acoustic cavitation for agri-food applications. *Ultrasonics Sonochemistry*, 105, 106850. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2024.106850>

Отримано 12.12.2025 р., прийнято до друку 09.02.2026 р.

UDC 664.3.032.9

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.154>

HYPERSPECTRAL IDENTIFICATION OF COMPOSITE CHINESE SAUSAGES

Yuanxia Fu

Applicant for the degree of Doctor of Philosophy,

Mathematics and Physics College, Bengbu University, Bengbu 233030, China

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

03041, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine

<https://orcid.org/0000-0002-4238-1847>

Abstract. With the increasing diversity of compound sausage types, the development of a rapid, accurate, and non-destructive identification model has become essential. The aim is to develop a robust model that operates without damaging the sausage surface or structure, meeting real-time, lossless, and high-throughput recognition requirements in practical applications. “Lossless recognition” refers to non-destructive analysis of surface spectra using hyperspectral imaging technology – without chemical treatment, grinding, or slicing into the interior of the sausage. Hyperspectral imaging technology was employed to collect spectral data over 400 – 1000 nm for eight types of compound sausages. For each image, 50 sampling regions were randomly selected, and the average reflectance values were extracted. First, three preprocessing algorithms – Multiplicative Scatter Correction (MSC), Savitzky-Golay smoothing (SG), and Neighborhood Averaging (NA) – were applied to the raw hyperspectral data. To enhance modeling efficiency, Principal Component Analysis (PCA) was used to reduce the dimensionality of the original 328 spectral bands, retaining the first 10 principal components, which explained over 95% of the total variance, as the new feature set. The classification results demonstrate that hyperspectral imaging combined with machine learning algorithms can effectively distinguish between the eight compound sausage types. Among all methods, the SVM model exhibited the highest classification accuracy, highlighting its excellent discriminative ability and robustness in high-dimensional hyperspectral data analysis. Classification models that combined MSC preprocessing with any of the three algorithms achieved prediction accuracies of over 99%.

Keywords: spectroscopic analysis; complex product structure; modeling; principal component analysis; classification; cross-validation.

УДК 664.3.032.9

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2026.154>

ГІПЕРСПЕКТРАЛЬНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ КОМПОЗИТНИХ КИТАЙСЬКИХ КОВБАС

Юанься Фу

здобувачка ступеня доктора філософії

Коледж математики та фізики, Університет Бенбу, Бенбу 233030, Китай

Національний університет біоресурсів і природокористування

03041, Героїв Оборони 15, Київ, Україна

<https://orcid.org/0000-0002-4238-1847>

Анотація: Зі зростанням різноманітності структури ковбас, розробка швидкої, точної та неруйнівної моделі ідентифікації стала надзвичайно важливою. Метою дослідження є створення надійної моделі, яка працює без пошкодження поверхні чи структури ковбаси, щоб відповідати вимогам розпізнавання в режимі реального часу без втрат та

високопродуктивного розпізнавання у практичних умовах. Таке «розпізнавання без втрат» означає неруйнівний аналіз поверхневих спектрів за допомогою технології гіперспектральної візуалізації, тобто без хімічної обробки, подрібнення або нарізання внутрішньої частини ковбаси. Технологію гіперспектральної візуалізації було використано для збирання спектральних даних у діапазоні 400 – 1000 нм для восьми різних типів композитних ковбас. Для кожного зображення випадковим чином вибирали 50 областей вибірки, із яких визначали середні значення коефіцієнта відбиття. Спочатку до необроблених гіперспектральних даних застосовували три алгоритми попередньої обробки, а саме, мультиплікативну корекцію розсіювання (MSC), згладжування Савіцького-Голея (SG) та межеве усереднення (NA). Для підвищення ефективності моделювання було використано аналіз головних компонент (PCA), щоб зменшити розмірність вихідних 328 спектральних смуг, зберігаючи перші 10 головних компонент, які пояснюють понад 95% загальної дисперсії, як основний набір ознак. Результати класифікації демонструють, що гіперспектральна візуалізація в поєднанні з алгоритмами комп'ютерного аналізу може ефективно розрізнити вісім типів композитних ковбас. Серед усіх методів модель SVM продемонструвала найвищу точність класифікації, що підкреслює її високу дискримінаційну здатність та стійкість у високовимірному гіперспектральному аналізі даних. Моделі класифікації, які поєднували попередню обробку MSC з будь-яким із трьох алгоритмів, досягли точності прогнозування понад 99%.

Ключові слова: спектроскопічний аналіз; складна структура продукції; моделювання; аналіз головних компонент; класифікація; перехресна валідація.

INTRODUCTION. In China, sausage culture has a long-standing tradition, renowned for its distinct color, aroma, taste, and shape. With improving living standards, there is an increasing demand for nutritious sausages suitable for all age groups. Composite sausages, characterized by their high protein, low fat, high fiber, and multi-vitamin content, can be made by combining various types of meat, fresh vegetables, coarse grains, edible fungi, and spices. This enhances their flavor, taste, and quality, while also boosting their nutritional value and supporting both specific and non-specific immune functions of the human body (Feng et al., 2020). Consequently, as people place greater emphasis on balanced nutrition, composite sausages have become a promising green health food with significant market potential (Liu et al., 2021). However, the complexity and variety of composite sausages present challenges. Although various sausage identification methods exist, there is practical value in developing a comprehensive, systematic, online, lossless sausage recognition model better to support production, processing, distribution, and storage, and to meet consumer demand for different sausage types. The developed method for identifying the quality state of sausages using mathematical modeling based on factor areas and spaces proved quite effective in terms of simplicity and assessment accuracy. The latter characteristics are defined by the product's quality parameters, which are specified in geometric models using polar coordinates (Palamarchuk et al., 2025; Mushtruk et al., 2023).

In recent years, the widespread use of hyperspectral imaging technology, absorption spectroscopy, and spectral analysis techniques combined with machine learning in food testing has offered new approaches for the classification and prediction of sausage varieties (Palamarchuk et al., 2024; et al., Su et al., 2018; Liu et al., 2017).

Hyperspectral technology is an emerging non-destructive testing technique that combines the strengths of traditional imaging and spectroscopy. This dual capability allows hyperspectral imaging to simultaneously capture both the image texture and spectral features of the object being analyzed, providing high spatial resolution (Huang et al., 2023; Zhao et al., 2022; Wang et al., 2020).

This approach aims to provide valuable insights for the rapid classification and quality detection of real-world sausage products. Initially, the operational workflow and processing outcomes of three hyperspectral preprocessing algorithms, PCA dimensionality reduction analysis,

and three classification models were examined using MATLAB and OriginPro. The confusion matrix and prediction accuracy results obtained were used as the basis for evaluating the subsequent classification models.

LITERATURE REVIEW. Among these, the integration of hyperspectral analysis with machine learning algorithms for food origin identification and quality detection has gained increasing prominence in recent years. This approach allows the simultaneous acquisition of spatial and spectral information, enabling detailed characterization of the chemical composition, structural properties, and visual attributes of food products without destroying the sample. The combination of hyperspectral imaging with advanced computational techniques has significantly expanded the possibilities for automated quality control in the meat processing industry.

Kalinichenko et al. employed basic odor discrimination and an electronic nose to capture feature data, which were then analyzed using a probabilistic neural network (PNN) to assess the quality of soy protein sausages (Kalinichenko et al., 2020). The electronic nose system collected volatile compound profiles from the samples, forming a multidimensional dataset that reflects aroma characteristics associated with product freshness and composition. Two analytical approaches were evaluated: conventional pattern recognition and machine learning-based classification. After evaluating both methods, the second approach, a probabilistic neural network, achieved 100% classification accuracy, demonstrating the effectiveness of combining sensor-based detection with artificial intelligence for rapid, objective assessment of sausage quality.

Recent advancements in spectroscopic imaging and artificial intelligence have enabled high-precision non-destructive assessment of meat products. Hyperspectral imaging integrates spectroscopy and digital imaging, enabling each image pixel to contain a complete spectral signature. This enables the detection of subtle chemical and physical variations that are difficult to observe with traditional analytical techniques. A study by Zhang et al. investigated the classification of Chinese Cantonese sausages using hyperspectral imaging (HSI) combined with machine learning algorithms such as Support Vector Machine (SVM) and Random Forest (RF) (Liu, Y., Zhang et al., 2017; Wang et al., 2019). Their results demonstrated that both whole and sliced sausages could be accurately classified into different quality grades, with classification accuracies exceeding 90%. The study also highlighted that the use of advanced feature extraction techniques improved model robustness and reduced computational complexity.

Guo Peiyuan applied hyperspectral technology to develop an iterative decision tree machine learning model for sausage colony identification (Dong, X., Guo, P. et al., 2017). In this research, spectral information collected from sausage surfaces was used to detect microbial colonies and predict contamination levels. The developed model demonstrated root mean square errors of 0.001 and 0.003, with determination coefficients (R^2) of 0.998 and 0.996, respectively, indicating extremely high predictive accuracy and strong correlation between predicted and measured values. Such results confirm the potential of hyperspectral analysis combined with machine learning for rapid microbiological monitoring in meat products.

Huang et al. applied hyperspectral imaging, combined with multivariate analysis and image processing, to detect and visualize color differences in cooked sausages stuffed into various modified casings (Huang et al., 2023). Color is an important indicator of processing conditions, ingredient composition, and consumer acceptability. The study utilized Partial Least Squares Regression (PLSR) and k-means clustering to analyze the spectral data, enabling effective differentiation of sausage samples based on visual and compositional features. In addition, the hyperspectral images enabled researchers to visualize the spatial color distribution across the sausage surface, providing deeper insight into the interactions between casing materials and meat matrices.

Overall, the reviewed studies demonstrate that hyperspectral imaging combined with machine learning algorithms represents a powerful tool for rapid, accurate, and non-destructive evaluation of

sausage quality. These technologies enable automated classification, detection of microbial contamination, monitoring of color and compositional changes, and verification of product authenticity. Consequently, their integration into industrial food quality control systems can significantly enhance process monitoring, ensure product safety, and improve consumer confidence in meat products (Liu, Y., Zhang et al., 2017; Wang et al., 2019; Huang et al., 2023; Kalinichenko et al., 2020; Dong, X., Guo, P. et al., 2017).

MATERIALS AND METHODS. Eight types of common complex sausage products were used in the study. For hyperspectral analysis, corresponding hyperspectral images of the test samples were obtained. Each sausage sample was partially cut to ensure the product's internal structure was representative during scanning. The obtained hyperspectral images of the samples are shown in Figure 1.



Figure 1. Hyperspectral image of 8 sausage samples: A – chicken sausage; B – meat sausage; C – corn dietary sausage; D – green pepper sausage; E – vegetable dietary sausage; F – beef-flavored sausage; G – shrimp smooth sausage; H – Chinese Cured Pork Sausage.

The indoor hyperspectral imaging system used in this study includes a darkroom system (GaiaSorter-Dual, Dualix, China), a visible and near-infrared hyperspectral imager (GaiaField-V10, Dualix, China), a near-infrared hyperspectral imager (GaiaField-N7E-HR, Dualix, China), and data acquisition and preprocessing software (SpecView, Dualix, China). The GaiaSorter-Dual system features a maximum sample space of 300 mm (length) × 300 mm (width) × 100 mm (height), with lighting space uniformity maintained at 95%. Its power input operates at 220 V AC ±10 %, while the adjustable working distance ranges from 180 mm to 600 mm. The sample stage provides an 800 mm scanning travel distance and includes a standard calibration whiteboard measuring 300 mm × 25 mm × 10 mm—a polytetrafluoroethylene-pressed, 99% standard diffuse reflection board.

To reduce the influence of external stray light and ensure the stability and accuracy of spectral measurements, hyperspectral data were acquired using the GaiaField-V10 visible–near-infrared hyperspectral imager installed inside the GaiaSorter-Dual darkroom system. Using a closed, darkroom environment minimizes interference from ambient illumination and enables consistent spectral acquisition under controlled lighting conditions.

The imaging system operates based on a push-broom scanning technique, in which the sensor sequentially captures spectral information line by line as the sample moves relative to the detector. This approach enables simultaneous recording of spatial and spectral information, forming a three-dimensional hyperspectral data cube with two spatial dimensions and one spectral dimension. The hyperspectral camera operates over 400–1000 nm, covering the visible and near-infrared regions, which are highly informative for analyzing food composition and surface characteristics. The

spectral sampling rate was 0.7 nm per minute, yielding 328 spectral bands with a sampling resolution of 3.5 nm, providing sufficient spectral detail for subsequent data analysis and classification.

During the experiment, slices of eight different sausage products were arranged in batches on the sample stage of the imaging system. The samples were illuminated by a dome-shaped, uniform light source integrated into the darkroom, ensuring homogeneous illumination of the sample surface and reducing shadows and reflection artifacts. The illumination system provides a full-spectrum range from 350 to 2500 nm, enabling stable spectral acquisition across the hyperspectral sensor's operating range. Such an experimental setup allows the collection of high-quality hyperspectral images suitable for subsequent machine learning analysis and product classification.

The configuration and main components of the indoor hyperspectral imaging system used in this study are illustrated in Figure 2.

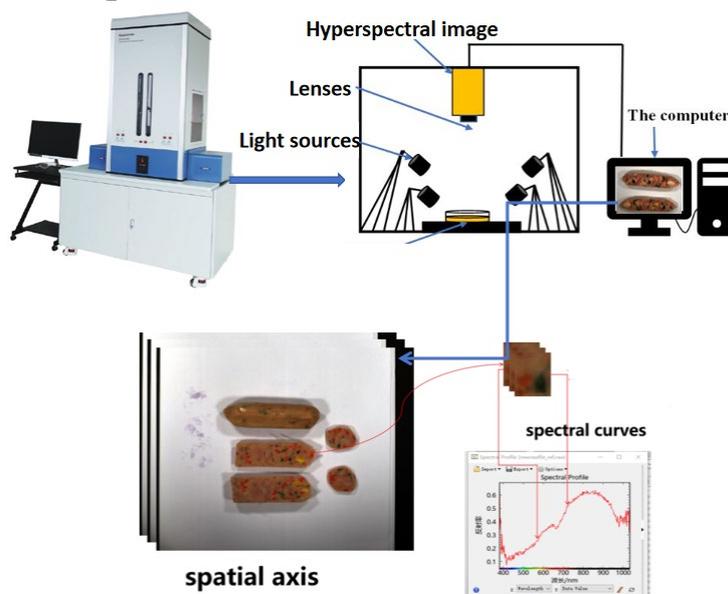


Figure 2. Hyperspectral experimental setup and experimental process.

For the visible near-infrared hyperspectral imager (instrument selected in this study), the GaiaField-V10 model covers 400–1000 nm and achieves a spectral resolution (FWHM) of 3.5 nm. It offers a minimum spectral sampling point of 0.7 nm and employs a high-performance CCD detector. This imager provides 1392 spatial channels and 520 spectral channels, outputs 14-bit camera data, and is equipped with a C-mount lens featuring a 25 mm focal length.

RESULTS AND DISCUSSION. Matlab was used to perform Multiplicative Scatter Correction (MSC) preprocessing of spectral data from eight types of composite sausages. MSC preprocessing is commonly applied in hyperspectral data analysis to minimize the effects of light scattering, baseline shifts, and other spectral distortions arising from variations in sample surface structure, particle size, or uneven illumination conditions.

The application of MSC normalizes spectral signals by correcting multiplicative and additive effects relative to a reference spectrum. As a result, the spectral curves become more comparable and better reflect the actual chemical composition of the samples rather than external measurement artifacts. This preprocessing step is particularly important when analyzing food products such as sausages, where heterogeneous structures and differences in fat, protein, and moisture distribution can significantly influence spectral responses.

After MSC preprocessing, the corrected spectral data showed improved consistency and reduced spectral noise, thereby enhancing the reliability of subsequent data analysis and

classification procedures. The processed spectra provided a clearer representation of the characteristic absorption features in the visible–near-infrared region, which are associated with the chemical components of meat products. Consequently, the MSC-preprocessed dataset served as the basis for further modeling and machine learning analysis to distinguish among the different types of composite sausages.

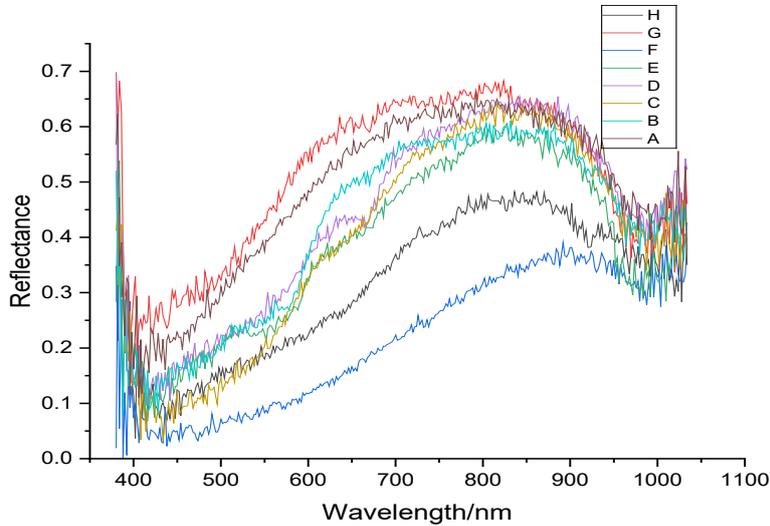


Figure 3. Representative graph of original spectral data curves of 8 kinds of sausages
Source: developed by the authors

Figures 3 and 4 display the representative spectral curves for the sausages, including both the original and MSC-processed curves. It is clear that the MSC treatment significantly reduces noise and centers the data in comparison to the original spectral curves. Consequently, the MSC-processed hyperspectral curves provide improved discrimination of spectral features.

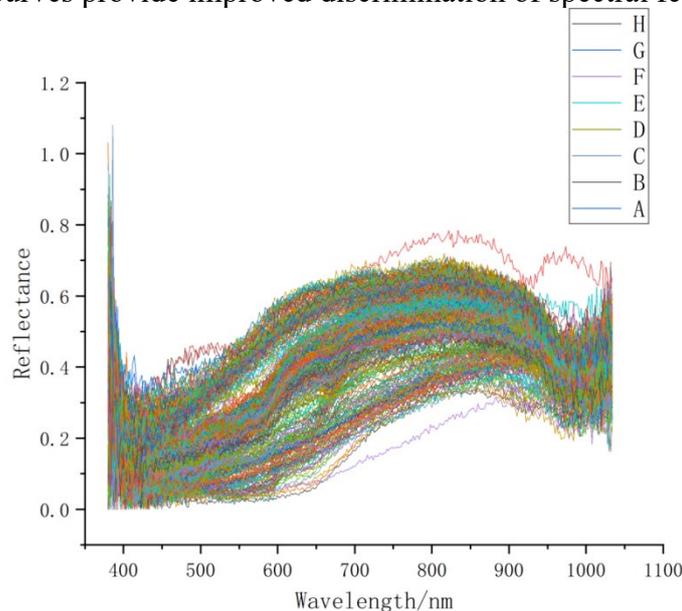


Figure 4. Complete raw spectral patterns of 8 sausage species
Source: developed by the authors

For this classification, the SG smoothing technique is applied to the data using Origin's smoothing function. For the «Algorithm Preprocessing» step, the Origin program was used to preprocess the hyperspectral data using the neighborhood-average method (Figure 5).

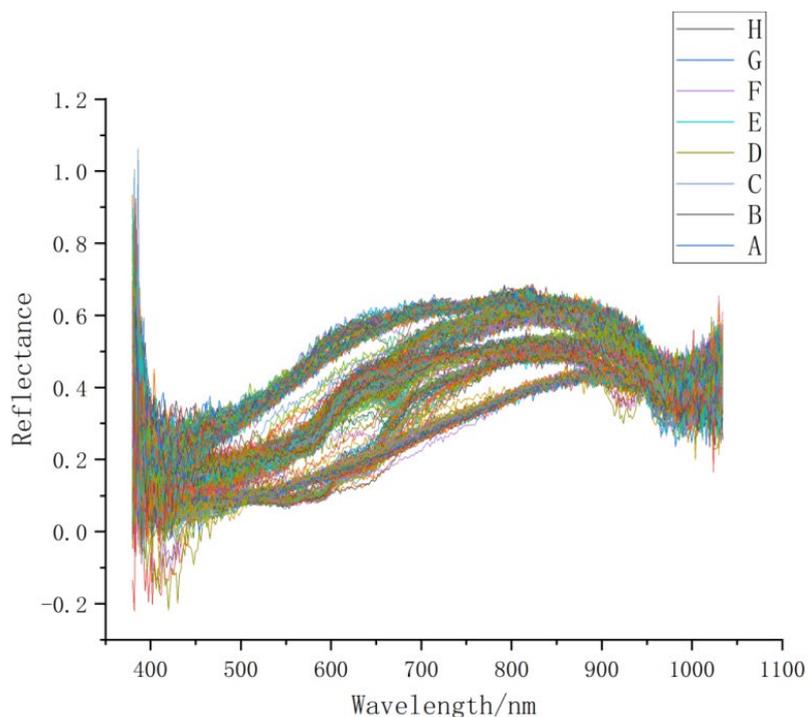


Figure 5. Complete spectral curves after MSC treatment.

Source: developed by the authors

The process followed the same steps as the SG smoothing. On the smoothing page, the neighborhood-average method was selected for data processing. The final spectral data image is presented in Figure 6.

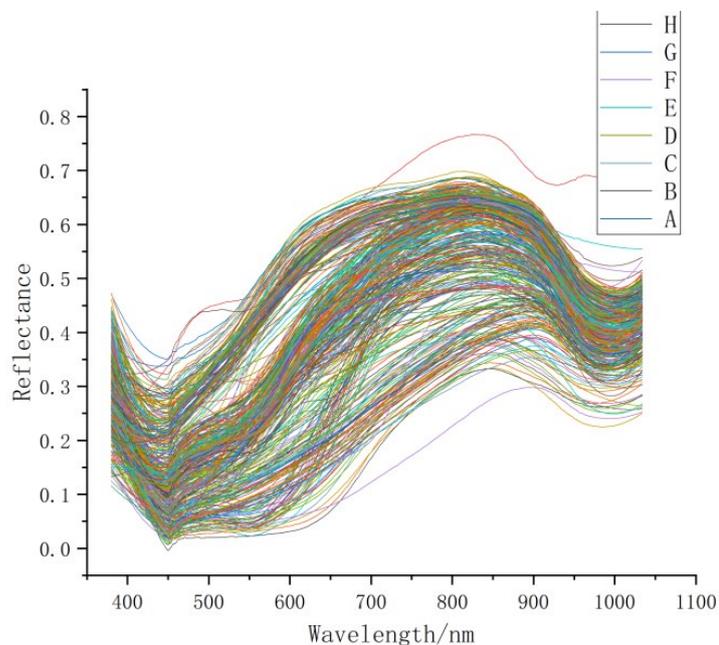


Figure 6. Complete hyperspectral curve after SG smoothing.

Source: developed by the authors

Upon examining the hyperspectral curves of the sausages processed by the three methods, it is clear that the spectral differences between the eight sausage types are not distinct. Additionally, the 328 bands in the 400–1000 nm range result in high feature dimensions, introducing redundancy.

This redundancy can lead to inefficiency in machine learning for classification and limit the generalization capability of the trained model (Son et al., 2024; Yang et al., 2019; Xia et al., 2021).

Therefore, we conducted a comparative analysis between PCA-processed and non-PCA-processed data. After SG processing, principal component analysis yielded the cumulative contribution rates for PC1-PC10 as follows: 86.92417, 95.10919, 97.19433, 98.48592, 99.22994, 99.64845, 99.80852, 99.87624, 99.92173, and 99.95849.

For data processed using the adjacent averaging method, the cumulative contribution rates for PC1-PC10 after principal component analysis were 85.13105, 93.18345, 95.72803, 97.51157, 98.31266, 98.89775, 99.29545, 99.47274, 99.61852, and 99.71805, respectively.

After preprocessing the original hyperspectral data with MSC, PCA yielded cumulative contribution rates for PC1-PC10 of 80.4519, 86.21714, 88.7409, 90.34385, 91.67426, 92.78757, 93.69049, 94.44586, 95.14513, and 95.6151.

The results demonstrate that after applying principal component analysis (PCA) to spectral data preprocessed by these three methods, the original 328-dimensional data was reduced to as few as 10 dimensions while retaining more than 95% of the original information. This indicates that the filtered data has a minimal effect on the overall dataset, with the first ten principal components containing the majority of the relevant information. These results show that PCA significantly reduces the input data for the sausage classification model, minimizes training time, and achieves data-preprocessing goals while preserving the key hyperspectral information of the sausages.

Hyperspectral imaging (HSI) has emerged as a powerful non-destructive analytical technology for evaluating the quality and safety of meat products. The technology integrates spectroscopic analysis with imaging techniques, enabling simultaneous acquisition of spatial and spectral information from food samples. This combination allows researchers to assess multiple quality attributes such as chemical composition, freshness, fat content, and microbial contamination without damaging the product. Recent studies have demonstrated that hyperspectral imaging can effectively characterize the physicochemical and sensory properties of meat, including protein and water distribution, oxidation levels, and microbial spoilage indicators.

The results of the present study show that the hyperspectral curves of the eight composite sausage types exhibited relatively small spectral differences when analyzed directly. Such behavior is typical for complex meat matrices, where overlapping spectral features of proteins, lipids, and water often produce highly correlated spectral signals. Consequently, hyperspectral datasets typically contain hundreds of spectral bands, each of which is highly redundant. According to Xu et al. (2024), hyperspectral datasets often require advanced preprocessing and dimensionality reduction techniques to improve data interpretability and classification performance. The findings of the present work confirm this statement, since the initial 328-dimensional dataset required transformation before it could be effectively used for machine-learning-based classification.

The application of principal component analysis (PCA) in this study proved to be an efficient strategy for dimensionality reduction. After PCA transformation, the hyperspectral data were reduced from 328 spectral variables to 10 principal components, while retaining more than 95% of the total variance for most preprocessing methods. This result indicates that the majority of the spectral information describing the sausage samples can be represented in a significantly smaller feature space. Similar conclusions were reported by Rogers (2023), who analyzed wavelength selection strategies in hyperspectral imaging and emphasized that reducing the number of spectral variables is essential to improving computational efficiency and classification accuracy in food analysis models.

In addition to improving computational efficiency, dimensionality reduction methods help machine-learning algorithms focus on the most informative spectral features. Das et al. (2025) noted that hyperspectral imaging generates large volumes of highly correlated data, which can negatively affect the performance of classification algorithms. Their review demonstrated that integrating machine learning with feature extraction techniques, such as PCA or wavelength selection, significantly enhances model robustness and prediction accuracy. The results of the

present research support this conclusion, as PCA preserved the essential spectral information while reducing data redundancy.

Another important observation in this study is the influence of different preprocessing methods on PCA's effectiveness. Among the examined preprocessing approaches, Savitzky–Golay filtering and adjacent averaging yielded higher cumulative variance values for the first principal components than MSC preprocessing. This suggests that smoothing and noise-reduction techniques can better preserve the spectral structure of hyperspectral data before dimensionality reduction. Similar observations were reported in hyperspectral studies of meat freshness. For instance, Kim et al. (2024) demonstrated that applying spectral preprocessing combined with multivariate modeling improved the detection of quality indicators, such as lipid oxidation and volatile nitrogen compounds, in beef samples. Their work highlights the importance of preprocessing in extracting meaningful spectral information from complex meat products.

Beyond preprocessing and dimensionality reduction, recent research has increasingly focused on integrating hyperspectral imaging with artificial intelligence and deep learning methods. Nikzadfar et al. (2024) emphasized that artificial intelligence techniques can efficiently handle the complexity of hyperspectral datasets by automatically extracting relevant spectral features and constructing predictive models for food quality evaluation. The authors highlighted that machine-learning algorithms are particularly effective when the input data have been appropriately preprocessed and reduced to the most informative features. This concept is consistent with the methodological framework of the present study, in which PCA served as a key step in preparing hyperspectral data for subsequent classification modeling.

Another important aspect highlighted in recent literature is the growing use of hyperspectral imaging for simultaneously monitoring multiple quality attributes. Yi et al. (2025) reported that hyperspectral imaging can simultaneously evaluate various meat quality parameters, including freshness, intramuscular fat content, microbial contamination, and nutritional composition, in a single analytical process. This multifunctional capability distinguishes hyperspectral technology from traditional analytical methods, which often require separate laboratory tests for each quality parameter. The present study contributes to this research area by demonstrating that hyperspectral spectral patterns can be used to differentiate between several types of composite sausage products after appropriate data preprocessing and dimensionality reduction.

Furthermore, integrating hyperspectral imaging with modern machine-learning frameworks is considered one of the most promising directions in food quality control. Recent research indicates that combining hyperspectral data with advanced modeling techniques, such as neural networks, support vector machines, or ensemble learning algorithms, significantly improves prediction accuracy and enables real-time quality monitoring in food production systems. In this context, dimensionality reduction methods like PCA play an essential role by reducing computational complexity and facilitating faster model training. The results of the current study confirm that PCA effectively compresses hyperspectral information without substantial loss of data quality, thereby enabling more efficient implementation of machine-learning models.

Overall, the findings of this research align with the general trends reported in contemporary hyperspectral food analysis studies. Most researchers emphasize that hyperspectral datasets require appropriate preprocessing and feature extraction to achieve reliable classification results. The comparison with previous studies shows that the approach used in this work – combining spectral preprocessing with PCA – aligns with widely accepted practices in hyperspectral data analysis. At the same time, the present study extends existing knowledge by demonstrating the effectiveness of this approach specifically for composite sausage products, which represent complex multicomponent food systems.

In conclusion, the obtained results confirm that hyperspectral imaging combined with PCA-based dimensionality reduction is a promising approach for analyzing and classifying sausage products. By reducing spectral dimensionality from hundreds of bands to a limited number of

informative principal components, it is possible to maintain the essential spectral characteristics while significantly improving computational efficiency. These findings support the growing application of hyperspectral imaging and machine learning technologies for rapid, non-destructive quality assessment in the meat industry.

Conclusions. This study demonstrated the feasibility of combining hyperspectral imaging with machine learning algorithms for rapid, non-destructive classification of composite sausage products. Hyperspectral data were collected from eight commercially available sausage varieties in the visible–near-infrared spectral range. To improve the quality of the raw spectral signals, three preprocessing methods – Multiplicative Scatter Correction (MSC), Savitzky–Golay (SG) smoothing, and neighborhood averaging (NA) – were applied to reduce noise and enhance spectral stability. Considering the high dimensionality of hyperspectral datasets, Principal Component Analysis (PCA) was used to reduce data complexity. The first ten principal components retained more than 95% of the total spectral variance, indicating that the essential information of the original spectra was effectively preserved while significantly reducing the number of input variables.

The reduced feature set was subsequently used to train three classification models: k-Nearest Neighbors (KNN), Support Vector Machine (SVM), and Random Forest (RF). Model performance was evaluated using five-fold cross-validation, confusion matrices, and prediction accuracy. All models achieved strong classification results, with average accuracies exceeding 90%. The SVM model showed the highest overall performance with an accuracy of 95.79%. Notably, when MSC preprocessing was applied, the prediction accuracy of all classification models exceeded 99%, demonstrating the importance of appropriate spectral preprocessing in improving model performance.

Overall, the results confirm that hyperspectral imaging combined with dimensionality reduction and machine learning techniques represents an effective approach for automated identification and quality evaluation of sausage products. The proposed methodology has strong potential for application in intelligent food quality control systems within the meat processing industry.

Acknowledgements. None.

Conflict of interest. None.

References

- Das, M., Sharma, P., & Kumar, S. (2025). Machine learning in hyperspectral imaging for food safety and quality monitoring: A comprehensive review. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 11, 35–52. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2025.02.003>
- Dong, X., Guo, P., & Xu, P. (2017). Prediction of total viable count in sausages using hyperspectral imaging combined with an iterative decision tree. *Modern Food Science and Technology*, 33(7), 308–314. <https://doi.org/10.13982/j.mfst.1673-9078.2017.7.043>
- Feng, T., Wang, X., Wang, H., Song, S., & Sun, J. (2020). Enhancement of nutritional value and functional properties of compound sausages through incorporation of edible mushrooms and coarse cereals. *Journal of Food Science and Technology*, 57(8), 3023–3034.
- Huang, L., Zhao, J., Chen, Q., & Zhang, Y. (2023). Rapid detection of adulteration in minced mutton using hyperspectral imaging combined with chemometric methods. *Chemosensors*, 11(2), 136. <https://doi.org/10.3390/chemosensors11020136>
- Jo, K., Lee, S., Jeong, S.-K., & Lee, D.-H. (2024). Hyperspectral imaging-based assessment of fresh meat quality: Progress and applications. *Microchemical Journal*, 197, 109785. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2023.109785>

- Kalinichenko, A., & Arseniyeva, L. (2020). An electronic nose combined with chemometric approaches to assess the authenticity and adulteration of sausages by soy protein. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 303, 127250. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2020.127250>
- Kim, M., Park, J., & Lee, S. (2024). Early detection of beef quality indicators using hyperspectral imaging and spectral modeling. *Food Control*, 158, 110137. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2023.110137>
- Liu, Y., Pu, H., & Sun, D.-W. (2017). Hyperspectral imaging technique for evaluating food quality and safety: A review. *Chemosensors*, 5(4), 28. <https://doi.org/10.3390/chemosensors5040028>
- Liu, Y., Zhang, M., & Wang, D. (2021). Consumer perception and market potential of novel healthy meat products: A case study of compound sausages in China. *Food Control*, 130, 108356. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2021.108356>
- Mushtruk, M., Palamarchuk, I., Palamarchuk, V., Petrychenko, I., & Pylypchuk, O. (2023). Mathematical modelling of quality assessment of cooked sausages with the addition of vegetable additives. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 17, 242–255.
- Nikzadfar, M., Rahman, A., & Lee, J. (2024). Hyperspectral imaging aiding artificial intelligence for food quality and safety control: A review. *Applied Sciences*, 14(21), 9821. <https://doi.org/10.3390/app14219821>
- Palamarchuk, I., Fu, Y., Zhuravel, D., Petrychenko, I., Blishch, R., Holovatyuk, A., Domin, O., & Kostiuk, T. (2024). Spectroscopic assessment and quantitative analysis of the trace element composition of vegetable additives to meat products. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 18, 480–496. <https://doi.org/10.5219/1965>
- Palamarchuk, I., Zavalov, V., Fu, Y., Palamarchuk, V., & Popova, N. (2025). Mathematical modeling by the factorial area method in evaluating the quality characteristics of the studied samples. In *Advances in design, simulation and manufacturing processes VIII* (pp. 147–156). https://doi.org/10.1007/978-3-031-95218-0_13
- Rogers, M. (2023). Wavelength and texture feature selection for hyperspectral food analysis: A review. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17, 5120–5136. <https://doi.org/10.1007/s11694-023-02044-x>
- Son, W.-Y., Kang, M.-H., Hwang, J., Kim, J.-H., Dixit, Y., & Kim, H.-W. (2024). Hyperspectral imaging combined with machine learning can be used for rapid and non-destructive monitoring of residual nitrite in emulsified pork sausages. *Foods*, 13, 3173. <https://doi.org/10.3390/foods13193173>
- Su, W.-H., & Sun, D.-W. (2018). Fourier transform infrared, Raman, and hyperspectral imaging techniques for quality determinations of powdery foods: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17(4), 104–120.
- Wang, Q., & He, Y. (2019). Rapid and nondestructive classification of Cantonese sausage degree using hyperspectral images. *Applied Sciences*, 9(5), 822. <https://doi.org/10.3390/app9050822>
- Wang, Y., Yang, Z., & Cheng, J. (2020). Application progress of multispectral imaging for food nutritional quality detection. *Science and Technology of Food Industry*, 41(4), 339–347. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2020.04.058>
- Xia, S. J., Yang, C. Y., Zhou, C. G., et al. (2021). Review of the application of common machine learning methods in the field of traditional Chinese medicine diagnosis. *Journal of Guangzhou University of Traditional Chinese Medicine*, 38(4), 826–831. <https://doi.org/10.13359/j.cnki.gzxbtcm.2021.04.026>
- Xu, Z., Li, Y., Wang, H., & Chen, Y. (2024). Research progress on the quality detection of livestock and poultry meat using machine vision and hyperspectral technology. *Foods*, 13(3), 469. <https://doi.org/10.3390/foods13030469>
- Yang, C., Zhao, Y., & Liu, H. (2025). Deep learning hyperspectral imaging: A rapid and reliable alternative for food quality and safety evaluation. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 73, 14562–14575. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.4c11492>

- Yang, J. F., Qiao, P. R., Li, Y. M., et al. (2019). A review of machine learning classification problems and algorithms. *Statistics and Decision*, 35(6), 36–40. <https://doi.org/10.13546/j.cnki.tjyj.2019.06.009>
- Yi, X., Zhang, Y., & Chen, L. (2025). Advances in hyperspectral imaging for multi-attribute analysis of meat quality. *Food Chemistry*, 435, 137558. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2024.137558>
- Zhao, J., Dong, Q., Chen, P., et al. (2022). Application progress of hyperspectral imaging technology in the rapid detection of microbial contamination in animal-derived food. *Science and Technology of Food Industry*, 43(7), 467–473. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2021050236>

Отримано 30.12.2025 р., прийнято до друку 01.03.2026 р.