ISSN 2786-8974 (Online)
2026 | 3
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

https://dx.doi.org//10.31548/humanhealth.3.2026

ISSN 2786-8974 (Online) **УДК 613:17.023.31/.32**

ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ І НАЦІЇ

Електронний науковий журнал. № 3(2026)
виходить 4 рази на рік

Рекомендовано до видання та поширення Вченою радою НУБіП України, протокол № 1 від 26.08.2026 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
Кластер: *Промислові і будівельні технології, логістика, транспорт.*
Спеціальності: *G13 – харчові технології.*
Наказ Міністерства освіти і науки України № 928 від 11.06.2026 р.

Інші спеціальності, за якими журнал приймає до публікації статті:
«Фізична культура і спорт» (освіта/педагогіка);
«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

https://dx.doi.org//10.31548/humanhealth.3.2026

ISSN 2786-8974 (Online) **UDC 613:17.023.31/.32**

HUMAN and NATION'S HEALTH

Electronic scientific journal. № 3(2026)
Published 4 times a year

Recommended for publication and distribution the Academic Council NULES of Ukraine, Minutes No. 1 of August 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
Cluster: *Industrial and construction technologies, logistics, transport.*
Specialties: *G13 – Food technologies.*
Order of the Ministry of Education and Science of Ukraine No. 928 of June 11, 2026

Other specialties for which the journal accepts articles for publication:
«Physical education and sport» (education/pedagogy);
«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 *(головний редактор);*
Муштрук Михайло Михайлович	Кандидат технічних наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна *(заступник головного редактора)*;
Шевченко Наталія Юріївна	відповідальний редактор, (*технічний*), 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 ;
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;
Мукоїд Роман Миколайович	Кандидат технічних наук, доцент, Національний університет харчових технологій, Україна;
Бровенко Тетяна Вікторівна	Кандидат технічних наук, доцент, Національний університет біоресурсів і природокористування України, Україна;
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 *(Editor-in-Chief)*;
Mushtruk Mykhailo Mykhailovych	PhD in Technical Sciences, Associate Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine *(Deputy Editor-in-Chief)*;
Shevchenko Nataliia Yuriivna	Editor-in-Chief, (*Technical*), 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;
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;
Mukoid Roman Mykolayovych	Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, National University of Food Technologies, Ukraine;
Brovenko Tetiana Viktorovna	PhD in Technical Sciences, Associate Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Ukraine
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. Олександр Веретенніков
Наукове обґрунтування та розробка технології добавки стабілізуючої молочно-рослинної для використання у виробництві емульсійних лікерів **7**

2. Сергій Веретенніков
Наукове обґрунтування раціональних технологічних режимів виробництва добавки молочно-рослинної **22**

3. Ірина Момот, Валентина Ісраелян
Оцінка мінерального складу і показників безпечності м'яса нутрії **39**

4. Лариса Баль-Прилипко, Ігор Устименко, Давид Арутюнян, Михайло Муштрук, Марія Жеплінська
Комплексне оцінювання якості твердого сиру з насінням льону методом факторних площ **51**

5. Зінаїда Бурова, Максим Гудзенко, Юлія Крижова, Денис Гайдучек
Персоналізована нутриціологія та штучний інтелект: сучасні підходи, регуляторні виклики та клінічна ефективність **67**

6. Анастасія Кулаківська, Роксолана Конечна, Олена Вічко, Ірина Назарко, Святослав Половкович
Потенціал застосування ензиму целюлази у хлібопекарській галузі **82**

7. Юлія Крижова, Наталія Слободянюк
Вплив бактеріальних заквасок на підвищення біологічної цінності м'яса у виробництві сардельок **96**

8. Тетяна Бровенко, Ярослав Кошелев
Оцінка ризиків для безпечності харчових продуктів методом матриці ризиків **114**

9. Ігор Калюжняк, Марина Сердюк
Оцінка харчової цінності та амінокислотної збалансованості білка голубців із пророщеним нутом і композицією гідроколоїдів **131**

CONTENTS

1. Oleksandr Veretennikov
Scientific substantiation and development of a milk-plant stabilizing additive technology for use in emulsion liqueur production..... **7**

2. Serhii Veretennikov
Scientific substantiation of rational technological parameters for the production of a milk-plant additive..... **22**

3. Iryna Momot, Valentyna Israelian
Assessment of mineral composition and safety indicators of nutrition meat **39**

4. Larysa Bal-Prylypko, Ihor Ustymenko, David Arutiunian, Mikhailo Mushtruk, Marija Zheplinska
Comprehensive quality assessment of hard cheese with flax seeds using the factor area method **51**

5. Zinaida Burova, Maksym Hudzenko, Yuliia Kryzhova, Denis Gaiduchek
Personalized nutrition and artificial intelligence: modern approaches, regulatory challenges, and clinical efficacy **67**

6. Anastasiia Kulakivska, Roksolana Konechna, Olena Vichko, Iryna Nazarko, Svyatoslav Polovkovych
The potential for application of enzyme cellulase in the baking industry..... **82**

7. Yuliia Kryzhova, Nataliia Slobodyanyuk
Influence of bacterial starter cultures on enhancing the biological value of meat in frankfurter sausage production **96**

8. Tetyana Brovenko, Yaroslav Koshelev
Risk assessment for food safety using the risk matrix method **114**

9. Ihor Kaliuzhniak, Marina Serdyuk
Evaluation of the nutritional value and amino acid balance of protein in cabbage rolls with germinated chickpeas and a hydrocolloid composition..... **131**

УДК 637.146:663.05:664.014
https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2026.07

НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ ДОБАВКИ СТАБІЛІЗУЮЧОЇ МОЛОЧНО-РОСЛИННОЇ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ У ВИРОБНИЦТВІ ЕМУЛЬСІЙНИХ ЛІКЕРІВ

Олександр Васильович Веретенніков
Аспірант кафедри торгівлі, готельно-ресторанної та митної справи
https://orcid.org/0009-0008-6171-3334
Державний біотехнологічний університет
61002, вул. Алчевських, 44, Харків, Україна

Анотація. Раціональне використання вторинної молочної сировини, зокрема сироватки з-під кисломолочного сиру, та створення добавок для харчової галузі є одним із актуальних напрямів розвитку сучасних ресурсозберігаючих технологій. Особливий інтерес становить розроблення стабілізуючих систем на основі продуктів переробки молочної сировини та рослинних компонентів, що містять функціональні біологічно активні речовини. У зв'язку з цим актуальним є наукове обґрунтування технології виробництва добавки стабілізуючої молочно-рослинної на основі добавки молочно-рослинної, отриманої з використанням ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного та листя якона, і білкового стабілізатора – казеїнату натрію.

Метою роботи було наукове обґрунтування складу та технологічних режимів виробництва стабілізуючої молочно-рослинної добавки, призначеної для використання у технології емульсійних лікерів, а також визначення раціональних параметрів підготовки та внесення білкового стабілізатора для забезпечення високих емульгувальних і стабілізуючих властивостей системи. Для досягнення поставленої мети використано загальноприйняті методи дослідження органолептичних, фізико-хімічних та функціонально-технологічних властивостей харчових систем, методи визначення активної кислотності, в'язкості, колоїдної стабільності, а також методи математичної та статистичної обробки експериментальних даних.

У результаті проведених досліджень науково обґрунтовано компонентний склад стабілізуючої молочно-рослинної добавки. Визначено доцільність використання казеїнату натрію як білкового стабілізатора у кількості 2,8 % у складі добавки. Встановлено, що попередня солюбілізація казеїнату натрію у воді з подальшим введенням добавки молочно-рослинної забезпечує формування однорідної білково-вуглеводної системи з активною кислотністю pH = 6,2–6,6. Отримана добавка характеризується однорідною консистенцією без ознак розшарування та осадоутворення. Доведено, що поєднання компонентів добавки молочно-рослинної із казеїнатом натрію забезпечує формування стабільної системи з підвищеними емульгувальними властивостями, придатної для використання в алкогольвмісних емульсійних продуктах.

Практична цінність роботи полягає в розробці технології нової стабілізуючої молочно-рослинної добавки, яка може бути використана як функціонально-технологічний інгредієнт у виробництві емульсійних лікерів та інших емульсійних харчових системах. Запропонована технологія сприяє комплексній переробці вторинної молочної сировини, розширенню напрямів використання ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного, використанню листя якона та підвищенню ресурсоефективності харчових виробництв.

Ключові слова: стабілізуюча молочно-рослинна добавка, казеїнат натрію, ультрафільтрат сироватки, листя якона, емульсійні лікери, колоїдна стабільність, емульгувальні властивості.

 Creative Commons Attribution 4.0 International Public License

UDC 637.146:663.05:664.014
https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2026.07

SCIENTIFIC SUBSTANTIATION AND DEVELOPMENT OF A MILK-PLANT STABILIZING ADDITIVE TECHNOLOGY FOR USE IN EMULSION LIQUEUR PRODUCTION

Oleksandr Veretennikov
PhD Student of the Department of Trade, Hotel, Restaurant and Customs
https://orcid.org/0009-0008-6171-3334
State Biotechnology University
61002, St. 44, Alchevsky, Kharkiv, Ukraine

Abstract. The rational utilization of secondary dairy by-products, particularly cottage cheese whey, and the development of ingredients for the food industry are among the most relevant areas for advancing modern resource-saving technologies. Particular interest is focused on the development of stabilizing systems based on whey processing products and plant-derived components containing biologically active functional compounds. In this regard, the scientific substantiation of the technology for producing a milk-plant stabilizing additive based on a milk-plant additive obtained using cottage cheese whey ultrafiltrate and yacon leaves, together with the protein stabilizer sodium caseinate, is of considerable importance.

The aim of this study was to provide a scientific substantiation of the composition and technological parameters for the production of a milk-plant stabilizing additive intended for use in the technology of emulsion liqueurs, as well as to determine the rational conditions for the preparation and incorporation of the protein stabilizer to ensure high emulsifying and stabilizing properties of the system. To achieve this objective, conventional methods for evaluating the sensory, physicochemical, and functional-technological properties of food systems were employed, including determination of active acidity, viscosity, and colloidal stability, as well as mathematical modeling and statistical analysis of experimental data.

The studies conducted provided a scientific justification for the composition of the milk-plant stabilizing additive. The feasibility of using sodium caseinate as a protein stabilizer at a concentration of 2,8% in the additive was established. It was found that preliminary solubilization of sodium caseinate in water, followed by the addition of the milk-plant additive, ensured the formation of a homogeneous protein-carbohydrate system with an active acidity of pH 6,2…6,6. The resulting additive exhibited a homogeneous consistency, with no signs of phase separation or sediment formation. It was demonstrated that combining the milk-plant additive components with sodium caseinate resulted in a stable system with enhanced emulsifying properties suitable for use in alcohol-containing emulsion products.

The practical significance of the work lies in the development of a novel milk-plant-stabilizing additive that can serve as a functional and technological ingredient in the production of emulsion liqueurs and other emulsion-based food systems. The proposed technology contributes to the comprehensive utilization of secondary dairy raw materials, expands the applications of cottage cheese whey ultrafiltrate, promotes the use of yacon leaves, and enhances the resource efficiency of food production processes.

Keywords: milk-plant stabilizing additive, sodium caseinate, whey ultrafiltrate, yacon leaves, emulsion liqueurs, colloidal stability, emulsifying properties.

ВСТУП. У сучасних умовах розвитку харчової промисловості одним із пріоритетних напрямів є впровадження ресурсозберігаючих і безвідходних технологій, спрямованих на раціональне використання сировинних ресурсів, зниження виробничих втрат і підвищення екологічної безпеки виробництва. Особливої актуальності набуває комплексна переробка

вторинної сировини харчових виробництв, яка дозволяє не лише мінімізувати негативний вплив на довкілля, а й отримувати нові функціональні інгредієнти з високою доданою вартістю.

Одним із найбільш перспективних напрямів є розширення шляхів використання молочної сироватки та продуктів її переробки (Buchanan et al., 2023; Carvalho, 2024). Незважаючи на значний вміст біологічно цінних компонентів, молочна сироватка залишається недостатньо залученою до технологічних процесів, а її утилізація потребує додаткових економічних витрат. Особливий інтерес становить ультрафільтрат сироватки, який містить лактозу, мінеральні речовини, органічні кислоти та інші низькомолекулярні сполуки, що можуть бути використані як основа для створення нових харчових інгредієнтів і багатокомпонентних функціональних систем (O'Donoghue and Murphy, 2023; Yadav et al., 2015).

Водночас сучасні тенденції розвитку харчових технологій пов’язані зі створенням універсальних добавок комплексної дії, здатних одночасно виконувати декілька технологічних функцій – стабілізувати структуру продуктів, покращувати їх фізико-хімічні властивості, підвищувати харчову та біологічну цінність, а також забезпечувати необхідні органолептичні характеристики. Особливо перспективним є поєднання молочної та рослинної сировини, що дозволяє отримувати синергетичний ефект завдяки поєднанню білків, вуглеводів, органічних кислот, фенольних сполук та інших біологічно активних компонентів (Granato et al., 2020; Nieto, 2024).

Особливого значення набуває розробка стабілізуючих систем для емульсійних продуктів, зокрема молочних лікерів. Стабільність таких продуктів значною мірою залежить від здатності використаних інгредієнтів забезпечувати стійкість білково-жирової емульсії за наявності етилового спирту. Тому створення добавок, що поєднують стабілізуючі властивості білкових компонентів із функціональними характеристиками рослинних екстрактів, є актуальним науковим і практичним завданням.

У зв’язку з цим актуальними є наукове обґрунтування та розробка технології добавки стабілізуючої молочно-рослинної, призначеної для використання у виробництві емульсійних лікерів та інших харчових продуктів, що потребують підвищеної колоїдної та агрегативної стабільності.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ. Метою роботи є наукове обґрунтування технологічних режимів виробництва стабілізуючої молочно-рослинної добавки, встановлення закономірностей формування її структури та властивостей для подальшого використання у виробництві емульсійних лікерів.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. Одним із пріоритетних напрямів розвитку сучасної харчової промисловості є створення комбінованих продуктів на молочно-рослинній основі, що поєднують високу харчову цінність молочних компонентів із біологічно активними речовинами рослинного походження. Такий підхід дозволяє не лише розширити асортимент функціональної продукції, а й підвищити її антиоксидантні, пребіотичні та технологічні властивості. У зв'язку з цим, останніми роками значна кількість наукових досліджень присвячена використанню рослинної сировини у виробництві молочних продуктів різного призначення.

Найбільшого поширення набуло застосування фруктово-ягідної сировини у виробництві кисломолочних продуктів, йогуртів, молочних десертів, сиркових виробів, морозива та молочних напоїв (Ali, 2022; Salehi, 2021). Як рослинні компоненти використовують плодово-ягідні соки, пюре, концентрати, екстракти, а також рослинні порошки, отримані із чорниці, чорної смородини, полуниці, журавлини, малини, обліпихи, гарбуза, моркви, буряка, яблук, винограду, тощо. Основною метою їх використання є

покращення органолептичних властивостей продукції, підвищення її вітамінної та антиоксидантної цінності, а також надання привабливого кольору та смаку.

Перспективним напрямом є також використання рослинних екстрактів, багатих на поліфенольні сполуки, харчові волокна та природні антиоксиданти (Gullon et al., 2020; Wazzan, 2024). Зокрема, фахівцями галузі досліджуються екстракти зеленого чаю, виноградних вичавок, лікарських рослин, пряно-ароматичної сировини. Такі інгредієнти здатні підвищувати антиоксидантну активність молочних продуктів, однак їх використання переважно спрямоване на функціональне збагачення продукції і значно рідше – на покращення її технологічних властивостей.

Окремий напрям досліджень присвячений комплексній переробці молочної сироватки. Завдяки високому вмісту лактози, мінеральних речовин та водорозчинних азотистих сполук сироватка широко використовується у виробництві напоїв, концентратів, білкових препаратів, сухих молочних інгредієнтів, лактози, молочнокислих продуктів і функціональних харчових добавок. Значного розвитку набули мембранні технології переробки сироватки, що дозволяють отримувати концентрати сироваткових білків, ізоляти білків, демінералізовану сироватку та інші продукти (Blais et al., 2022; Yadav et al., 2015).

Разом із цим, аналіз наукових публікацій свідчить, що ультрафільтрат сироватки, який утворюється після вилучення сироваткових білків, використовується значно меншою мірою. Незважаючи на вміст лактози, органічних кислот, мінеральних речовин і низькомолекулярних азотистих сполук, ультрафільтрат переважно розглядають як побічний продукт мембранної переробки або використовують у виробництві кормів, біотехнологічних процесах чи для одержання окремих компонентів, що не забезпечує повною мірою реалізацію його технологічного потенціалу.

Аналіз існуючих добавок на молочній основі також показує, що рослинні компоненти переважно використовують у вигляді плодово-ягідної сировини, соків, сиропів, фруктових концентратів і пюре. Значно рідше застосовують листкову рослинну сировину, яка містить широкий спектр фенольних сполук, флавоноїдів, органічних кислот та інших біологічно активних речовин. Практично відсутні дослідження можливості використання ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного як екстрагента для вилучення цих компонентів із рослинної сировини та одночасного формування нових функціональних багатокомпонентних систем.

Фахівцями Державного біотехнологічного університету розроблено добавку молочно-рослинну (ДМР), яку отримують шляхом екстрагування приготованого листя з ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного за гідромодулю 1:10, pH = 4,4…4,5, температури 45±2 °C та тривалості процесу τ = (45…50)×60 с. Розроблена добавка характеризується вмістом лактози, інуліну та інших фруктанів, фенольних сполук, органічних кислот, мінеральних речовин і природних антиоксидантів, що зумовлює її функціональні властивості та перспективність використання у технологіях харчових продуктів (Kolesnyk et al., 2025). Разом із цим, ДМР є переважно низькомолекулярною дисперсною системою і не містить компонентів, здатних забезпечувати ефективну емульгувальну та стабілізувальну дію. Це істотно обмежує можливість її безпосереднього використання у виробництві емульсійних продуктів, зокрема молочних лікерів, де необхідно забезпечити високу колоїдну та агрегативну стійкість білково-жирової емульсії за наявності етилового спирту.

Тобто, проведений аналіз літературних джерел свідчить, що, незважаючи на значну кількість досліджень у сфері створення молочно-рослинних продуктів, питання комплексного використання ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного як основи для одержання багатокомпонентних функціональних добавок ще донедавна залишалося недостатньо вивченим. На сьогодні існує ДМР, що поєднує в собі компоненти рослинної сировини листя якона та ультрафільтрат сироватки з-під сиру кисломолочного, але практично відсутні наукові розробки, спрямовані на створення стабілізуючих молочно-

рослинних систем, які б одночасно поєднували функціональні властивості рослинних біологічно активних речовин та високі емульгувальні характеристики білкових стабілізаторів, тобто могли б бути використані у технології емульсійних харчових продуктів, зокрема лікерів.

У зв'язку з цим актуальним є наукове обґрунтування та розробка добавки стабілізуючої молочно-рослинної на основі ДМР і білкового стабілізатора, яка характеризуватиметься підвищеними емульгувальними та стабілізувальними властивостями й може бути використана як універсальний функціонально-технологічний інгредієнт у виробництві емульсійних харчових продуктів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Матеріалами досліджень були зразки добавки молочно-рослинної (ДМР), казеїнат натрію харчовий та зразки добавки стабілізуючої молочно-рослинної (ДСМР), отримані відповідно до розробленої технології. Експериментальні дослідження проводили у лабораторних умовах із використанням трьох паралельних визначень для кожного дослідного зразка.

Для встановлення раціональної концентрації білкового стабілізатора досліджували розчини казеїнату натрію з масовою часткою 4%, 6%, 8%, 10% та 12%. Розчинення казеїнату натрію проводили у питній воді за температури 45…50 °С при постійному перемішуванні до повної гідратації білкового компонента. Після завершення солюбілізації розчини охолоджували до температури 20±2 °С та досліджували їх технологічні характеристики.

Відносну в’язкість розчинів казеїнату натрію визначали капілярним методом із використанням віскозиметра Оствальда за температури 20±2°С відповідно до вимог ISO 3105:1994. Визначення проводили шляхом порівняння часу витікання досліджуваного розчину та дистильованої води за однакових умов вимірювання. Час розчинення казеїнату натрію визначали як тривалість процесу від моменту внесення білкового компонента у воду до отримання однорідної системи без видимих нерозчинених часток.

Активну кислотність (pH) досліджуваних систем визначали потенціометричним методом із використанням лабораторного pH-метра після повної гідратації та перемішування зразків відповідно до ISO 5546:2010. Органолептичні показники (однорідність, консистенція, наявність грудочок або ознак розшарування) оцінювали візуальним методом безпосередньо після приготування дослідних систем та після витримування протягом встановленого часу.

Для визначення технологічної доцільності способу змішування компонентів проводили порівняльні дослідження двох варіантів формування ДСМР: введення ДМР у попередньо підготовлений розчин казеїнату натрію та введення розчину казеїнату натрію безпосередньо у ДМР. Оцінювали однорідність системи, наявність агрегатів, осаду та зміну активної кислотності.

Отримані експериментальні дані обробляли методами математичної статистики з використанням програмного забезпечення Microsoft Excel 2021 (Microsoft Corp., США). Для кожного показника визначали середнє арифметичне значення та стандартне відхилення (±S). Достовірність відмінностей між дослідними зразками оцінювали за критерієм Стьюдента при рівні значущості $p \leq 0,05$. Результати експериментів наведено у вигляді середніх значень із зазначенням похибки вимірювань.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Добавка молочно-рослинна характеризується стабільним складом водорозчинних компонентів, однак за своєю природою є переважно вуглеводно-мінеральною системою, білкова фракція низька (0,3±0,01%) і не може формувати міжфазну плівку, амінокислоти не є поверхнево-активними і не здатні адсорбуватися на межі «жир-вода», тобто не виконують емульгувальної функції.

Вміст вуглеводів в ДМР на рівні 4,74±0,2% підвищує в’язкість водної фази, знижує швидкість коалесценції жирових крапель, стабілізує систему кінетично, але не термодинамічно. Це підсилює, але не замінює емульгатор. Для застосування отриманого

фахівцями Державного біотехнологічного університету екстракту (ДМР) в технології емульсійних продуктів, зокрема молочних лікерів, визначальним є рівень емульгувальної та агрегативної стабільності, що безпосередньо залежить від наявності в системі білкових компонентів із високою поверхневою активністю. Відсутність сироваткових білків в екстракті в даному випадку є технологічною перевагою, оскільки сироваткові білки характеризуються підвищеною чутливістю до дії етилового спирту та зниженою стабільністю в алкогольних середовищах, що може призводити до денатурації та помутніння готових виробів.

Разом із цим, низький вміст білкової складової в екстракті зумовлює необхідність білкової компенсації системи з метою формування стабільної емульсійної структури та функціонального наближення отриманої добавки до молока як традиційного компонента молочних лікерів. З цією метою доцільним є використання казеїнату натрію, який характеризується високою розчинністю, вираженими емульгувальними властивостями та підвищеною стійкістю в середовищах із вмістом етилового спирту (Dickinson, 2019; McClements, 2023).

Тому, після проведення екстрагування харчових компонентів підготовленого листя якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного, центрифугування та фільтрації, тобто отримання ДМР, для покращення емульгувальних властивостей добавки пропонуємо введення казеїнату натрію, що дозволить сформувати керовану білково-вуглеводну систему, в якій білкові компоненти виконують функцію основного емульгатора та стабілізатора жирової фази, тоді як молочно-рослинний екстракт (ДМР) виступає джерелом розчинних вуглеводів, мінеральних речовин та біологічно активних сполук. Завдяки цьому досягається функціональна імітація молочної фази без використання натурального молока, що є особливо важливим з огляду на прогнозовану підвищену стабільність такої системи в умовах дії спирту, зокрема завдяки відсутності сироваткових білків.

Таким чином, подальший етап досліджень спрямований на наукове обґрунтування кількості та способу введення казеїнату натрію до ДМР, визначення оптимальних параметрів формування білкової фази та оцінювання емульгувальної здатності отриманої добавки як функціональної для використання в технології молочних лікерів.

При цьому, одним з ключових етапів отримання ДСМР є розрахунок необхідної кількості білка – казеїнату натрію у готовій добавці.

У класичних технологіях молочних лікерів емульсійна стійкість забезпечується природним білково-жировим комплексом молока, у зв’язку з чим казеїнат натрію не застосовується або його застосування обмежується незначними кількостями (≈0,2%) у разі використання сухого молока, молочних замінників, підвищеної міцності лікеру (≥16–17% об.), зниженого вмісту молока (O'Mahony et al., 2017). У розроблюваній ДСМР казеїнат натрію виконує функцію основного емульгатора та білкового компенсатора. Разом із цим заміна молока в лікері на ДСМР зумовлює необхідність еквівалентного вмісту казеїнату натрію в добавці до вмісту казеїну в молоці, що дасть змогу досягти функціональної імітації молочної фази в лікері за рахунок ДСМР.

Загальновідомо, що коров’яче молоко жирністю 2,5…3,2% містить загального білка 3,0…3,2%, у тому числі казеїну – 2,4…2,6%, сироваткових білків – 0,6…0,7% (Huppertz, 2025). Таким чином, у 100 г молока міститься близько 2,5 г казеїну. Саме казеїн є основним білковим компонентом, що забезпечує емульгувальні та стабілізуючі властивості молочних лікерів.

Казеїнат натрію харчовий характеризується високим вмістом білка (90…92%), містить 8…10% вологи та зольних домішок. Тобто, 1 г казеїнату натрію містить ≈ 0,90 г білка (O'Mahony et al., 2017).

Виходячи з того, що в 100 г коров’ячого молока міститься ≈2,5 г казеїну, для забезпечення хімічно еквівалентної кількості білка та наближення ДСМР до функціональної

імітації молока необхідно використати 2,8 г казеїнату натрію у складі 100 г готової ДСМР. При цьому можна прогнозувати, що введення казеїнату натрію у складі ДСМР є технологічно більш ефективним за використання молочного казеїну у складі молока, що зумовлено солюбілізованим станом казеїнату натрію, вищою поверхневою активністю, відсутністю міцелярної структури та швидкою адсорбцією на межі поділу фаз. Разом з цим, у присутності етилового спирту в концентрації близько 17% об. Спостерігається зниження стабілізувальної дії білків, що зумовлює доцільність використання білкового компенсатора з певним запасом стабільності. З огляду на це, вирішено технологічний еквівалент білкового компонента для молочних лікерів із використанням ДСМР прирівняти до хімічного (через вміст спирту в лікері), і дозування білкового компенсатора в ДСМР прийняти як 2,8 г казеїнату натрію у складі 100 г готової ДСМР.

Експериментально встановлено, що пряме внесення порошку казеїнату натрію в ДМР не забезпечує його повної гідратації та супроводжується утворенням нерозчинених білкових агрегатів і грудочок. Тобто, є технологічно недоцільним унаслідок кислого значення активної кислотності ДМР (pH = 4,4–4,5), підвищеної іонної сили та наявності фенольних сполук (0,35 ± 0,01%), що створює умови для часткової дестабілізації та агрегації білкового компонента. Відбувається гідратація поверхневого шару білкових частинок у кислому середовищі ДМР (pH = 4,4…4,5), що перешкоджає подальшому проникненню води у внутрішні шари та повному розчиненню білка. Це знижує керованість, відтворюваність та стабільність системи. Тому доцільним є попереднє формування стабільного білкового розчину з контрольованими параметрами кислотності, а потім поступове змішування з ДМР.

Для формування стабільного білкового розчину казеїнату натрію об'єктивно необхідним є використання мінімальної кількості води для забезпечення мінімального розбавлення ДМР і наближення ДСМР до функціональної системи молока, тобто для отримання більш «молокоподібної» ДСМР. Для мінімізації додавання додаткової води та збереження високої концентрації функціонального білка було досліджено розчини казеїнату натрію з концентрацією 4–12%. Розчинення проводили у воді при t = 45–50 °C з перемішуванням до повної гідратації та розчинення. Для подальших досліджень розчин казеїнату натрію охолоджували до (20±2) °C.

Результати дослідження часу розчинення та відносної в'язкості ($\eta_{відн}$) розчинів казеїнату натрію різної концентрації наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Результати дослідження часу розчинення та відносної в'язкості ($\eta_{відн}$) розчинів казеїнату натрію різної концентрації

Концентрація казеїнату натрію, %	**Час розчинення, с**	**Час витікання води, с**	**Час витікання розчину, с**	**Відносна в'язкість, $\eta_{відн}$**	**В'язкість (візуально)**
4	(8±1)×60 с	52 ± 1	64 ± 2	1,23 ± 0,05	Низька
6	(12±1)×60 с	52 ± 1	76 ± 3	1,46 ± 0,06	Помірна
8	(16±1)×60 с	52 ± 1	90 ± 3	1,73 ± 0,08	Підвищена
10	(22±2)×60 с	52 ± 1	105 ± 4	2,01 ± 0,09	Підвищена
12	(35±3)×60 с	52 ± 1	127 ± 5	2,44 ± 0,12	Дуже висока

Джерело: розроблено автором.

Відносну в'язкість визначали капілярним методом із використанням віскозиметра Оствальда за температури 20 ± 2 °C. Зі збільшенням концентрації казеїнату натрію від 4 до 12% спостерігалося закономірне збільшення тривалості солюбілізації. Найбільше зростання часу розчинення відзначено для 12 %-го розчину, що супроводжувалося утворенням високов'язкої системи та ускладненням технологічного процесу перемішування. Розчин казеїнату натрію концентрацією 10% характеризувався достатньо високою в'язкістю,

необхідною для формування стабілізуючих властивостей ДСМР, але водночас зберігав прийнятну швидкість солюбілізації. Поступове зростання відносної в'язкості зі збільшенням концентрації казеїнату натрію свідчить про посилення міжмолекулярних взаємодій та зростання ступеня гідратації білкових макромолекул. За концентрації 10% розчин казеїнату натрію характеризується високою функціональністю, тоді як подальше підвищення концентрації до 12% супроводжується надмірним зростанням в'язкості, що обмежує технологічну придатність такого розчину казеїнату натрію. Таким чином, найбільш доцільним є використання 10 %-ї концентрації як раціональної для подальшого отримання ДСМР.

Результати досліджень технологічних характеристик, а саме активної кислотності, стабільності, ознак появи осаду, розчинів казеїнату натрію різної концентрації наведено в табл. 2. При цьому особливу увагу приділяли оцінці консистенції та колоїдної стабільності білкових систем, оскільки на етапі приготування ДСМР жирова фаза відсутня, і безпосередня емульсійна стабільність не може бути оцінена. pH визначали після повної гідратації білка.

Таблиця 2. Технологічна характеристика розчинів казеїнату натрію різної концентрації

Концентрація казеїнату натрію, %	**pH розчину**	**Візуальна стабільність**	**Ознаки агрегації / осаду**	**Технологічна характеристика**
4	6,6…6,7	стабільний	не виявлено	Добра розчинність, висока однорідність
6	6,6…6,8	стабільний	не виявлено	Колоїдна стабільність, технологічно придатний
8	6,7…6,8	стабільний	не виявлено	Висока колоїдна стабільність, придатний до концентрування
10	6,7…6,8	стабільний	не виявлено	Раціональна верхня межа концентрації
12	6,8…6,9	умовно стабільний	слабка флокуляція, або ознаки неповної гідратації (поодинокі грудочки)	Обмежена технологічна придатність

Джерело: розроблено автором.

Отримані результати свідчать, що у діапазоні концентрацій 4…10% розчини казеїнату натрію характеризуються стабільним значенням pH (6,6…6,8) та високою колоїдною стабільністю. Підвищення концентрації до 12% супроводжується незначним зростанням pH і появою ознак флокуляції, що обмежує технологічність і практичність використання таких систем.

Тобто, експериментальним шляхом (табл. 1, табл. 2) встановлено доцільність приготування 10% розчину казеїнату натрію, при такій концентрації білковий розчин є однорідним, являє собою в'язку, опалесцентну систему без видимих агломератів та нерозчинених часток. Підвищення концентрації казеїнату натрію понад 10…12 % призводить до різкого зростання в'язкості білкового розчину, ускладнює перемішування та створює ризик утворення локальних зон неповної гідратації, що негативно впливає на подальше формування емульсійної системи. Зі збільшенням концентрації казеїнату натрію pH білкового розчину змінюється незначно, що зумовлено буферною ємністю білка.

Таким чином, встановлено, що для приготування білкового розчину, казеїнат натрію харчовий поступово, тонким струменем вводять у питну воду, попередньо нагріту до

температури 45…50°С, у кількості 10% за умов механічного перемішування (без аерації) для запобігання утворенню грудок протягом (20…30)×60 с, що забезпечує повну гідратацію та солюбілізацію білка. Отриманий білковий розчин казеїнату натрію характеризується pH=6,7…6,8, тобто система має нейтральну реакцію, що забезпечує його високу поверхневу активність і технологічну придатність для стабілізації емульсійних систем. Також за концентрації розчину казеїнату натрію 10% спостерігається буферна ємність білка, розчин не потребує додаткового корегування активної кислотності перед змішуванням з ДМР.

Наступним етапом, після завершення гідратації казеїнату натрію, отриманий білковий розчин використовують для подальшого введення ДМР з одночасним контролем показника pH.

Виходячи з того, що для імітації функціональної системи молока, ДСМР повинен містити 2,8% казеїнату натрію, компоненти використовуються в наступних кількостях:

▪ ДМР – 72%;

▪ 10% водний розчин казеїнату натрію – 28% (з них: 2,8 г казеїнату натрію + 25,2 г води питної).

При цьому pH ДМР становить 4,4…4,5; 10% розчину казеїнату натрію – 6,6…6,8. Так як розчин казеїнату натрію (10%) характеризується буферною ємністю з наближенням активної кислотності до нейтральних значень (pH=6,6…6,8), високим ступенем гідратації білкових міцелоподібних структур, то критично важливим є порядок введення компонентів. Для встановлення порядку змішування було проведено порівняльне дослідження двох способів внесення компонентів: введення ДМР у розчин казеїнату натрію та введення розчину казеїнату натрію в ДМР (табл. 3). Змішування компонентів проводили за температури розчинів 35–40 °С, що забезпечує достатню рухливість білкових макромолекул, зменшення в'язкості системи та відсутність ризику термічної денатурації білка.

Таблиця 3. Характеристика розчину ДСМР залежно від способу внесення компонентів

Послідовність і спосіб змішування	**Однорідність розчину**	**Наявність грудочок**	**Наявність осаду**	**pH системи**
Введення ДМР у 10%-вий розчин казеїнату натрію	Однорідний розчин	Відсутні грудочки	Відсутній осад	6,3…6,5
Введення 10%-вого розчину казеїнату натрію у ДМР	Неоднорідний розчин	Наявні поодинокі грудочки, що не руйнуються при перемішуванні	Частковий осад	6,2..6,3

Джерело: розроблено автором.

З таблиці 3 видно, що при умові внесення 10 %-го розчину казеїнату натрію безпосередньо в ДМР білковий розчин миттєво контактує із середовищем, що має pH=4,4…4,5. При цьому на локальних ділянках виникає різке зниження pH, що призводить до часткової нейтралізації поверхневого заряду білкових частинок, їх флокуляції та утворення білкових агрегатів, які практично не зникають (не диспергуються) за інтенсивного перемішування.

При введенні ДМР тонким струменем саме в розчин казеїнату натрію під час постійного інтенсивного (безаераційного) перемішування при температурі 35…40°С протягом (10…15)×60 с спостерігалося рівномірне розподілення ДМР у всьому об’ємі білкового розчину. Поступове введення ДМР у розчин казеїнату натрію сприяє рівномірному зниженню активної кислотності білкової системи без формування локальних зон із низьким значенням pH. За таких умов білкові макромолекули залишаються у гідратованому стані, зберігаючи високу дисперсність системи. Тобто, відбувається поступове зниження pH білкової системи, стабілізація кінцевого pH ДСМР у межах 6,3…6,5, при чому солюбілізований стан казеїнату натрію зберігається, білкові частинки залишаються добре

гідратованими і не розвиваються процеси флокуляції. Введення ДМР в розчин казеїнату натрію є технологічно доцільним, оскільки забезпечує контрольовану зміну pH без утворення локальних зон ізоелектричного стану білка, що є критичним для збереження його функціональних властивостей. Якщо вводити розчин казеїнату натрію в ДМР, то відбувається часткова локальна коагуляція, флокуляція та втрата поверхневої активності білка, що технологічно недопустимо.

Для забезпечення можливості зберігання ДСМР доцільним є застосування низькотемпературної короткочасної пастеризації. Вибір режиму пастеризації обумовлений необхідністю забезпечення мікробіологічної безпечності ДСМР за максимального збереження функціональних властивостей казеїнату натрію та біологічно активних речовин рослинного походження, зокрема фенольних сполук і фруктанів. ДСМР пастеризували за температури 70…75°C з витримкою 15…20 с, що не спричиняє денатурації казеїнату натрію (казеїнат натрію термічно стабільний в цьому діапазоні), не порушує біологічно активні речовини та колоїдну стабільність білково-вуглеводної системи, тому зберігається функціональна активність добавки. Такий режим пастеризації забезпечує мінімізацію мікробіологічної активності та підвищує відтворюваність технологічних характеристик добавки під час зберігання та подальшого використання.

Після пастеризації ДСМР охолоджують до температури 2–6 °C та зберігають за холодильних умов. На підставі проведених досліджень розроблено технологічну схему виробництва ДСМР (рис. 1).

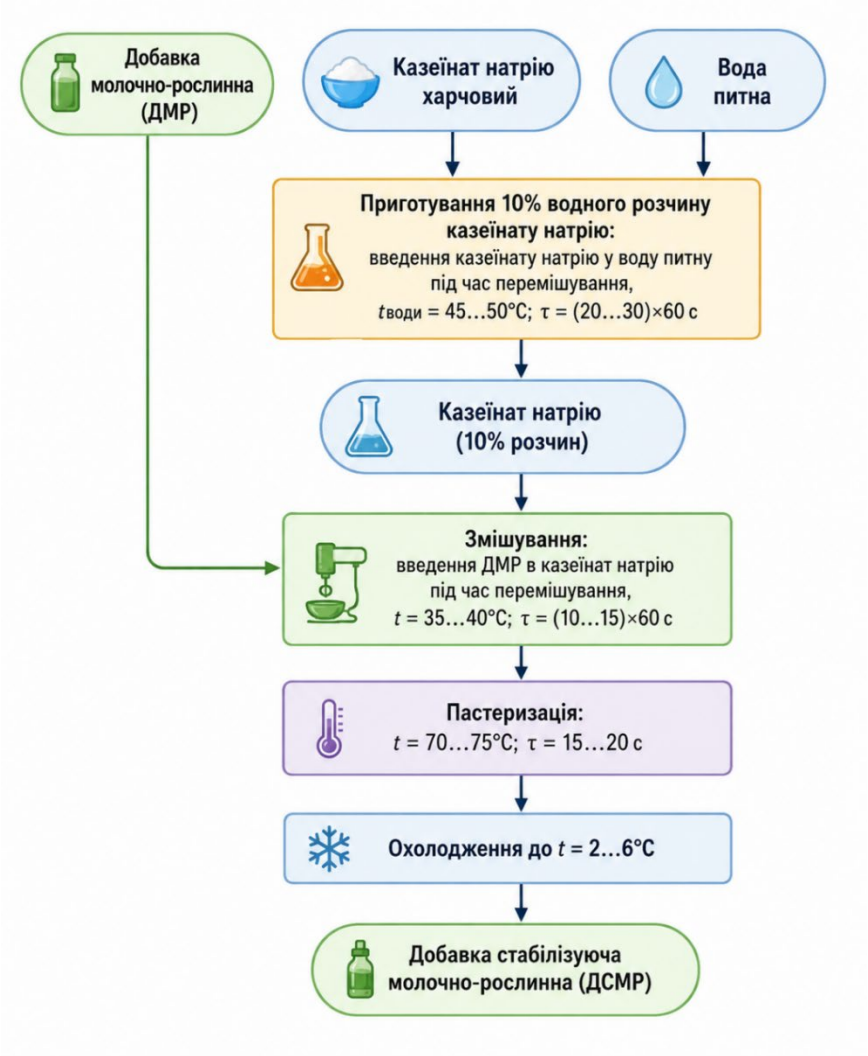

Рисунок 1. Технологічна схема виробництва ДСМР

Джерело: розроблено автором на основі лабораторних досліджень.

Таким чином, встановлено, що для отримання ДСМР необхідно використовувати наступні сировину та матеріали:

– ультрафільтрат сироватки з-під сиру кисломолочного згідно з чинною нормативною документацією, що дозволена МОЗ України та Держпродспоживслужбою;

– листова сировина якона згідно з чинною нормативною документацією, що дозволена МОЗ України та Держпродспоживслужбою;

– казеїнат натрію харчовий (Е469) згідно з технічними умовами підприємства-виробника та дозволений до використання у харчовій промисловості України;

– вода питна згідно з ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості».

Рецептуру ДСМР наведено в таблиці 4.

Таблиця 4. Рецептура ДСМР

Найменування сировини	Витрата сировини на 100 кг, кг	
	брутто	нетто
Ультрафільтрат сироватки з-під сиру кисломолочного	72,0	72,0
Листя якона (сушене, подрібнене)	7,2	7,2
Разом (стадія екстрагування)	–	79,2
Добавка молочно-рослинна (ДМР)	**–**	**72,0**
Казеїнат натрію харчовий (Е469)	2,8	2,8
Вода питна (для гідратації казеїнату натрію)	25,2	25,2
Вихід (добавка стабілізуюча молочно-рослинна ДСМР):	**–**	**100**

Джерело: розроблено автором.

Відповідно до табл. 4, у процесі екстрагування відбувається перехід частини сухих речовин рослинної сировини у рідку фазу без збільшення її маси, тверда рослинна фаза (жом) видаляється центрифугуванням. Таким чином, маса добавки молочно-рослинної відповідає масі використаного ультрафільтрату, а зростання вмісту сухих речовин зумовлене перерозподілом компонентів між твердою та рідкою фазами.

Отже, спочатку отримували добавку молочно-рослинну (ДМР) шляхом екстрагування сушеного подрібненого листя якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного. За раціональних параметрів екстракційного процесу (ГМ 1: 10; pH = 4,4…4,5; t = 45±2 °C; τ = (45…50)×60 с) у рідку фазу переходить 1,6 г сухих речовин на 100 г екстракту. Після центрифугування тверду фазу (жом) видаляють, а екстракт додатково очищують мембранною фільтрацією. Отримана ДМР використовується як основний компонент ДСМР.

Добавка стабілізуюча молочно-рослинна являє собою багатокомпонентну систему, що включає добавку молочно-рослинну, отриману екстрагуванням листя якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного, та білковий стабілізатор – казеїнат натрію, введений у вигляді попередньо солюбілізованого водного розчину.

За органолептичними показниками ДСМР є однорідною, помірно в'язкою рідиною, без осаду та сторонніх включень, без ознак розшарування, має рівномірний кремово-білий колір зі слабким світло-бурштиновим відтінком. Смак добавки приємний кисло-солодкий, з легким

кавово-рослинним присмаком, характерним для компонентів ДМР, і слабко вираженою терпкістю у післясмаку. Запах чистий, без сторонніх запахів.

Технологія виробництва ДСМР є технологічно зрозумілою, масштабованою та придатною до промислового впровадження. Усі запропоновані технологічні операції відповідають традиційним процесам молочної промисловості та можуть бути реалізовані на діючому обладнанні без істотної модернізації виробничих ліній. Контрольоване приготування розчину казеїнату натрію, раціональна послідовність змішування компонентів, короткочасна пастеризація та охолодження забезпечують відтворюваність властивостей ДСМР у промислових умовах. Це створює передумови для використання добавки як універсального функціонально-технологічного компонента у виробництві низки продукції, зокрема емульсійних лікерів, одночасно сприяючи комплексній переробці вторинної молочної сировини та підвищенню ресурсоефективності харчових виробництв.

Разом із цим, для остаточного підтвердження практичної ефективності розробленої ДСМР необхідним є проведення досліджень її функціонування безпосередньо у складі емульсійних лікерів. Перспективним напрямом подальших досліджень є оцінювання впливу ДСМР на формування та стабільність емульсійної структури готових лікерів, визначення оптимальної концентрації добавки у рецептурі, а також дослідження показників колоїдної стабільності, стійкості до розшарування та змін фізико-хімічних характеристик під час зберігання. Отримані результати дозволять комплексно оцінити технологічну ефективність ДСМР та обґрунтувати можливість її промислового використання у виробництві емульсійних лікерів.

Отримані результати дослідження підтверджують перспективність створення багатокомпонентних молочно-рослинних стабілізуючих систем на основі вторинної молочної сировини, біологічно активних компонентів рослин та білкових стабілізаторів. У більшості існуючих розробок молочні та рослинні компоненти використовують переважно з метою підвищення харчової цінності та функціональних властивостей продукції. Поряд із цим у даній роботі запропоновано технологічний підхід до формування стабілізуючої системи для емульсійних харчових продуктів із прогнозованими емульгувальними характеристиками.

Подібний напрям досліджень узгоджується із сучасними тенденціями комплексного використання молочної сировини. Так, Buchanan et al. (2023) у роботі, присвяченій сучасним підходам до переробки молочної сироватки, зазначають, що вторинні молочні ресурси є перспективним джерелом функціональних інгредієнтів завдяки наявності лактози, мінеральних речовин, білкових компонентів та низькомолекулярних сполук. Авторами акцентовано увагу на необхідності переходу від утилізації сироватки до її комплексного використання у виробництві продуктів із високою доданою вартістю. Результати розробки ДСМР розширюють цей підхід шляхом використання ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного як основи для екстрагування компонентів листя якона та формування нової функціонально-технологічної добавки.

Подібні висновки отримані Yadav et al. (2015), які досліджували можливості використання сироватки як джерела біологічно активних білків, пептидів та функціональних інгредієнтів. Автори розглядали переважно білкові фракції сироватки та продукти їх переробки, тоді як у запропонованій технології акцент зроблено на використанні ультрафільтрату після вилучення білків. Це дозволяє залучати до технологічного циклу менш досліджену фракцію молочної сировини, яка містить лактозу, органічні кислоти та мінеральні компоненти.

Питання застосування мембранних технологій для одержання функціональних молочних інгредієнтів розглядали Blais et al. (2022). Авторами показано, що багатоступенева мембранна фільтрація дозволяє отримувати продукти із прогнозованим складом та технологічними властивостями. Результати проведених досліджень з розробки технології ДСМР доповнюють ці положення, оскільки ультрафільтрат сироватки використано не лише

як побічний продукт мембранного розділення, а як активний компонент формування молочно-рослинної системи.

Застосування рослинних біоактивних компонентів у молочних продуктах широко досліджував Salehi (2021). Автор встановив, що додавання рослинної сировини до молочних систем сприяє підвищенню антиоксидантної активності, покращенню харчової цінності та розширенню асортименту функціональних продуктів. Разом із цим, у більшості таких досліджень рослинні компоненти виконують переважно збагачувальну функцію (плоди, ягоди, соки, порошки), тоді як їхній технологічний вплив на стабільність емульсійних систем розглядається обмежено. Запропонована ДСМР відрізняється тим, що рослинний компонент поєднано з білковим стабілізатором для забезпечення не лише функціонального збагачення, а й регулювання структурно-механічних властивостей системи.

Роль білкових компонентів у стабілізації харчових емульсій досліджував Dickinson (2019). Автором встановлено, що ефективність білкових стабілізаторів визначається здатністю формувати адсорбційний шар на межі поділу фаз, запобігати коалесценції жирових крапель і забезпечувати агрегативну стабільність емульсій. Отримані нами результати щодо необхідності введення казеїнату натрію підтверджують ці положення, оскільки ДМР без додаткової білкової складової не забезпечує достатньої емульгувальної активності. Водночас використання казеїнату натрію у концентрації 2,8% дозволило сформувати білково-вуглеводну систему, наближену за функціональними характеристиками до молочної фази.

Функціональні властивості молочних білків та можливості їх технологічного регулювання у харчових системах досліджували O'Mahony et al. (2017). Автори встановили, що технологічні характеристики білкових компонентів значною мірою визначаються їх структурним станом, здатністю до гідратації, взаємодією з іншими компонентами системи та можливістю формування стабільних міжфазних структур. Отримані нами результати щодо необхідності попередньої солюбілізації казеїнату натрію та контролю порядку змішування компонентів узгоджуються з цими положеннями, оскільки формування стабільної білкової фази перед контактом із компонентами з нижчим значенням pH є визначальним чинником збереження функціональних властивостей білка та запобігання його агрегації.

Таким чином, результати проведених досліджень загалом відповідають сучасним науковим тенденціям щодо використання вторинної молочної сировини, рослинних біоактивних компонентів та білкових стабілізаторів у харчових технологіях. Водночас запропонована технологія ДСМР відрізняється від більшості відомих розробок, оскільки передбачає комплексне поєднання функціональних властивостей ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного, листя якона та казеїнату натрію для створення стабілізуючої системи, орієнтованої на використання в емульсійних харчових продуктах. Подальші дослідження доцільно спрямувати на оцінювання ефективності використання ДСМР безпосередньо у складі емульсійних лікерів із визначенням показників емульсійної стабільності, реологічних характеристик, стійкості під час зберігання та впливу на органолептичні властивості готової продукції.

ВИСНОВКИ. Доведено доцільність використання добавки молочно-рослинної як основи для створення добавки стабілізуючої молочно-рослинної, спрямованої на застосування у технології емульсійних харчових продуктів, зокрема емульсійних лікерів. Встановлено, що ДМР, незважаючи на високий вміст біологічно активних речовин рослинного походження, не має достатніх емульгувальних властивостей, що зумовлює необхідність введення білкового стабілізатора.

Науково обґрунтовано склад ДСМР, до якого входять ДМР та казеїнат натрію, внесений у вигляді попередньо солюбілізованого водного розчину. Визначено, що раціональною є концентрація казеїнату натрію 2,8% у готовій добавці, що забезпечує

формування стійкої білково-вуглеводної системи, наближеної за своїм складом до системи «молоко», з високими емульгувальними властивостями.

Встановлено раціональний порядок внесення компонентів, який передбачає поступове введення ДМР у попередньо підготовлений водний розчин казеїнату натрію. Це забезпечує отримання однорідної системи без ознак коагуляції білка та дозволяє сформувати середовище з активною кислотністю pH = 6,2–6,6, що є сприятливим для збереження колоїдної стабільності добавки.

Розроблена технологія ДСМР дозволяє поєднати функціональні властивості біологічно активних речовин листя якона та ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного з високою емульгувальною та стабілізуючою здатністю казеїнату натрію. Отримана добавка може бути використана як універсальний функціонально-технологічний інгредієнт у виробництві емульсійних лікерів та інших харчових продуктів, що потребують підвищеної колоїдної та агрегативної стабільності.

Подяки. Немає
Конфлікт інтересів. Немає.

References

Ali, M. A., Kamal, M. M., Rahman, M. H., et al. (2022). Functional dairy products as a source of bioactive peptides and probiotics: current trends and future prospectives. *Journal of Food Science and Technology*, 59. https://doi.org/10.1007/s13197-021-05091-8

Blais, H. N., Schroën, K., & Tobin, J. T. (2022). A review of multistage membrane filtration approaches for enhanced efficiency during concentration and fractionation of milk and whey. *International Journal of Dairy Technology*, 75(4), 749-760. https://doi.org/10.1111/1471-0307.12884

Buchanan, D., Martindale, W., Romeih, E., & Hebishy, E. (2023). Recent advances in whey processing and valorisation: Technological and environmental perspectives. *International Journal of Dairy Technology*, 76(2), 291-312. https://doi.org/10.1111/1471-0307.12935

Carvalho, F. A. L., et al. (2024). Valorization of agri-food waste and by-products in cheese and other dairy foods: An updated review. *Food Bioscience*, 58. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2024.103751

Dickinson, E. (2019). Strategies to control and inhibit the flocculation of protein-stabilized oil-in-water emulsions. *Food Hydrocolloids*, 96, 209-223. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.05.021

Granato, D., Barba, F. J., Bursać Kovačević, D., Lorenzo, J. M., Cruz, A. G., & Putnik, P. (2020). Functional Foods: Product Development, Technological Trends, Efficacy Testing, and Safety. Annual Review of Food Science and Technology, 11, 93-118. https://doi.org/10.1146/annurev-food-032519-051708

Gullón, P., Gullón, B., Tavaria, F., Alonso, J. L., & Domínguez, H. (2020). Seaweed extracts as a source of bioactive compounds for food applications. *Food Hydrocolloids*, 102, 105537. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105537

Huppertz, T. (2025). Dairy Science and Technology (3rd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press/Balkema. https://doi.org/10.1201/9781003271765

International Organization for Standardization. (1994). ISO 3105:1994. Glass capillary kinematic viscometers – Specifications and operating instructions. Geneva, Switzerland: Author.

International Organization for Standardization. (2010). ISO 5546:2010. Caseins and caseinates – Determination of pH (Reference method). Geneva, Switzerland: Author.

Kolesnyk, V., Polupan, V., Penkina, N., Sorokina, S., Penkin, A., Bushtakov, I., & Veretennikov, O. (2025). Substantiation of the dairy-plant additives technology for use in functional products. *Food Science and Technology*, 18(4), 63-73. https://doi.org/10.15673/fst.v18i4.3145

Nieto, G. (2024). Applications of Plant Bioactive Compounds as Replacers of Synthetic Additives in the Food Industry. Foods, 13(1), 47. https://doi.org/10.3390/foods13010047

O'Donoghue, L. T., & Murphy, E. G. (2023). Nondairy food applications of whey and milk permeates: Direct and indirect uses. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22(4). https://doi.org/10.1111/1541-4337.13157

O'Mahony, J. A., Drapala, K. P., Mulcahy, E. M., & Mulvihill, D. M. (2017). Controlled glycation of milk proteins and peptides: *Functional properties. International Dairy Journal*, 67, 16-34. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2016.09.012

Salehi, F. (2021). Quality, physicochemical, and textural properties of dairy products containing fruits and vegetables: *A review. Food Science & Nutrition*, 9(8). https://doi.org/10.1002/fsn3.2430

Wazzan, H. (2024). Fortification of Dairy Products using Plant-derived Bioactive Compounds. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 12(2). https://doi.org/10.12944/CRNFSJ.12.2.6

Yadav, J. S. S., Yan, S., Pilli, S., Kumar, L., Tyagi, R. D., & Surampalli, R. Y. (2015). Cheese whey: A potential resource to transform into bioprotein, functional/nutritional proteins and bioactive peptides. *Biotechnology Advances*, 33(6), 756-774. https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2015.07.002

УДК 637.146:663.05:664.014
https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2026.22

НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ РАЦІОНАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ВИРОБНИЦТВА ДОБАВКИ МОЛОЧНО-РОСЛИННОЇ

Сергій Васильович Веретенніков
Аспірант кафедри торгівлі, готельно-ресторанної та митної справи
https://orcid.org/0009-0003-1304-9903
Державний біотехнологічний університет
61002, вул. Алчевських, 44, Харків, Україна

Анотація. Раціональне та повне використання вторинної молочної сировини є одним із актуальних напрямів розвитку сучасної харчової науки. Особливу цікавість викликає застосування ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного як основи для створення нової функціональної добавки, що поєднує харчову цінність молочної та рослинної сировини. У зв'язку з цим актуальним є наукове обґрунтування технології отримання добавки молочно-рослинної із використанням рослинної сировини, багатої на біологічно активні речовини – листя якона.

Метою роботи було наукове обґрунтування раціональних технологічних режимів виробництва добавки молочно-рослинної на основі ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного та листя якона, а також встановлення закономірностей і раціональних технологічних параметрів екстрагування. Для досягнення поставленої мети використано загальноприйняті методи дослідження органолептичних, фізико-хімічних і функціонально-технологічних характеристик харчових систем; методи визначення вмісту сухих речовин, кислотності, густини та в'язкості; методи математичного моделювання та статистичної обробки експериментальних даних.

У результаті проведених досліджень встановлено раціональні параметри екстрагування біологічно активних речовин листя на ультрафільтраті сироватки з-під сиру кисломолочного: гідромодуль 1:10, активна кислотність екстракційного середовища 4,4…4,5, температура 45±2 °С та тривалість екстрагування 45…50 хв. Наведені параметри дають змогу вилучити сухі речовини на рівні 1,6 г сухої речовини на 100 г екстракту. Реалізація способу виробництва молочно-рослинної добавки може бути здійснена за умов традиційних технологій із коригуванням на розроблені режими. Отримана добавка характеризується прозорою консистенцією, світло-бурштиновим кольором, приємним кисло-солодким смаком із характерним кавово-молочним присмаком і слабко вираженою терпкістю. Доведено, що використання ультрафільтрату сироватки як екстрагента забезпечує ефективне вилучення біологічно активних речовин із рослинної сировини без застосування складних технологічних операцій.

Практична цінність роботи полягає в розробленні технології нової молочно-рослинної добавки, яка може бути використана як багатофункціональний компонент у технологіях харчових продуктів, сприяючи комплексній переробці вторинної молочної сировини, підвищенню ресурсоефективності виробництва та розширенню переліку харчових продуктів.

Ключові слова: ультрафільтрат сироватки з-під сиру кисломолочного, листя якона, екстрагування, технологія, молочно-рослинна добавка.

 Creative Commons Attribution 4.0 International Public License

UDC 637.146:663.05:664.014
https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2026.22

SCIENTIFIC SUBSTANTIATION OF RATIONAL TECHNOLOGICAL PARAMETERS FOR THE PRODUCTION OF A MILK-PLANT ADDITIVE

Serhii Veretennikov
PhD Student of the Department of Trade, Hotel, Restaurant and Customs
https://orcid.org/0009-0003-1304-9903
State Biotechnology University
61002, St. 44, Alchevsky, Kharkiv, Ukraine

Abstract. The rational and comprehensive utilization of dairy by-products is a current priority in modern food science. Particular interest is focused on using cottage cheese whey ultrafiltrate as a basis for developing a novel functional ingredient that combines the nutritional value of both dairy and plant raw materials. In this regard, the scientific substantiation of the technology for producing a dairy-plant additive from yacon leaves, a plant material rich in bioactive compounds, is of considerable relevance.

This study aimed to scientifically substantiate the rational technological parameters for producing a dairy-plant additive based on cottage cheese whey ultrafiltrate and yacon leaves, and to establish the patterns and optimal conditions of the extraction process. To achieve this objective, conventional methods for evaluating the sensory, physicochemical, and functional-technological characteristics of food systems were applied. Methods for determining dry matter content, acidity, density, and viscosity, as well as mathematical modeling and statistical analysis of experimental data, were also employed.

The study established the optimal parameters for extracting biologically active substances from yacon leaves using cottage cheese whey ultrafiltrate: a hydromodule of 1:10, an extraction medium pH of 4.4–4.5, a temperature of 45 ± 2 °C, and an extraction time of 45–50 min. These conditions enabled the extraction of dry matter at 1.6 g per 100 g of extract. The proposed production method for the dairy-plant additive can be implemented using conventional processing technologies, with adjustments to suit the developed operating conditions. A transparent appearance, a light amber color, a pleasant sweet-and-sour taste, a distinctive coffee-milky aftertaste, and slight astringency characterized the resulting additive. It was demonstrated that using whey ultrafiltrate as an extractant ensures efficient recovery of biologically active compounds from plant material without requiring complex technological operations.

The practical significance of the work lies in the development of a novel dairy-plant additive that can serve as a multifunctional ingredient in food technology, contributing to the comprehensive utilization of secondary dairy raw materials, improved resource efficiency, and the expansion of the range of food products.

Keywords: whey ultrafiltrate, yacon leaves, extraction, technology, dairy-plant additive.

ВСТУП. Сьогодні поряд з інтенсивним розвитком науки та технологій відбуваються негативні тенденції, а саме: погіршення стану навколишнього середовища, пришвидшення темпу життя людини та зростання психоемоційних навантажень. За таких умов раціональне, збалансоване харчування відіграє ключову роль у підтриманні здоров'я людини, адаптації організму та профілактиці захворювань (Shahidi & Yeo, 2018). Разом із цим спостерігається скорочення споживання натуральних харчових продуктів і недостатня харчова цінність окремих видів промислово виготовленої продукції, що зумовлює дефіцит у раціоні вітамінів, мінеральних речовин та інших біологічно активних компонентів, необхідних для нормального функціонування організму.

Одним із актуальних напрямів розвитку сучасної харчової науки є створення новітніх інгредієнтів функціонального призначення, що мають високу харчову та біологічну цінність і водночас виробляються з використанням ресурсозберігаючих технологічних прийомів (Albuquerque et al., 2021; Tsakali et al., 2023). Особливої перспективи набувають дослідження, спрямовані на використання вторинної сировини харчових виробництв і залучення рослинних компонентів, багатих на поживні речовини.

У зв'язку з цим набуває дедалі більшої актуальності пошук і наукове обґрунтування технологій раціонального використання вторинної сировини молочної промисловості, а саме молочної сироватки та продуктів її переробки (Ryan & Walsh, 2016; Tsakali et al., 2023). На постійній основі під час виробництва кисломолочного сиру та казеїну отримують великі об'єми сироватки, багаті за своїм хімічним складом: вона містить 50–70 % сухих речовин молока, лактозу, мінеральні речовини, органічні кислоти, водорозчинні вітаміни тощо (Ryan & Walsh, 2016). При цьому, незважаючи на цінний склад, значна кількість молочної сироватки використовується неефективно.

Таким чином, наукове обґрунтування та розробка технології добавок на основі продуктів переробки молочної сироватки з одночасним залученням рослинних компонентів є об'єктивно необхідними та своєчасними.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ. Метою роботи є наукове обґрунтування раціональних технологічних режимів виробництва добавки молочно-рослинної на основі ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного та листя якона (*Smallanthus sonchifolius*), у тому числі встановлення оптимальних параметрів процесу екстрагування, що забезпечують одержання продукту зі стабільними органолептичними та фізико-хімічними властивостями.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. Важливим напрямом розвитку сучасних харчових технологій є розробка харчових систем, що поєднують високу харчову цінність вторинної молочної сировини з оздоровчими характеристиками рослинних компонентів (Buchanan et al., 2023). Особлива роль наразі приділяється використанню молочної сироватки. Водночас рослинна сировина є джерелом біологічно активних сполук, харчових волокон, вітамінів та антиоксидантів (Shahidi & Yeo, 2018; Albuquerque et al., 2021). Це значною мірою дає змогу покращити споживні властивості продукції.

Огляд літератури та наукових публікацій показує, що найчастіше молочна сироватка є основою для виробництва напоїв функціонального призначення (Buchanan et al., 2023). Відповідно до відомих технологій до складу молочної сироватки вводять фруктові соки, ягідні концентрати, прянощі та продукти переробки лікарських рослин. Такі прийоми поєднання молочної сироватки з рослинними складовими дозволяють покращити органолептичні характеристики напоїв, підвищити їхню здатність до стабільного зберігання та збагатити біологічно активними компонентами.

Багато досліджень спрямовані на отримання ферментованих молочних продуктів із використанням рослинної сировини (Nkhata et al., 2018). У відомих розробках рослинні компоненти використовують як джерело вітамінів, антиоксидантів, мінеральних сполук. Авторами зазначається, що використання рослинних компонентів позитивно впливає на життєздатність молочнокислих бактерій, сприяє формуванню приємного післясмаку та підвищує біологічну цінність готової продукції. Зокрема, одним із популярних напрямів є технології ферментованих молочних напоїв із додаванням фруктових і ягідних наповнювачів. Результати опублікованих робіт свідчать, що використання пюре чорниці, журавлини, обліпихи, чорної смородини та полуниці сприяє підвищенню антиоксидантної активності продукту, збільшенню вмісту фенольних сполук, покращенню органолептики (Shahidi & Yeo, 2018; Albuquerque et al., 2021). Рослинні інгредієнти сприяють стабільності ферментованих систем і підвищують їхню функціональну спрямованість.

Відомими є технології десертних молочних продуктів, у складі яких використовують рослинні компоненти. Як натуральні інгредієнти рослинного походження застосовують гарбузове, морквяне, бурякове та ягідне пюре, порошки фруктів і овочів, а також екстракти лікарських рослин (Albuquerque et al., 2021). Такі розробки сприяють підвищенню вмісту харчових волокон, каротиноїдів, фенольних і мінеральних речовин, поліпшуючи кольорові та смакові характеристики готової продукції.

На сьогодні особливий науковий інтерес викликають продукти переробки молочної сироватки, зокрема ультрафільтрат сироватки з-під кисломолочного сиру, який наразі дуже обмежено використовується в харчових технологіях (Ryan & Walsh, 2016; Kolesnyk et al., 2025). Ультрафільтрат сироватки з-під сиру кисломолочного характеризується високим вмістом вуглеводів — лактози та мінеральних речовин, а також низькою густиною. Такі властивості створюють передумови для використання ультрафільтрату як екстрагента біологічно активних речовин із рослинної сировини.

Разом із цим, актуальним збагачувальним компонентом рослинного походження є якон (*Smallanthus sonchifolius*), листя якого містить фруктани, інулін, фенольні сполуки, органічні кислоти та мінеральні речовини (Chessum et al., 2023; Gudz, 2018; Sharma et al., 2024). Відомі наукові дослідження зосереджені виключно на використанні бульб якона як джерела фруктоолігосахаридів та інуліну (Campos et al., 2018; Gibson et al., 2017). Але не менш цінною з технологічної та функціональної точки зору є листя якона. Листя, яке містить значну кількість хлорогенової, кавової та розмаринової кислот, рутину, ізокверцитрину та інших фенольних сполук. На відміну від традиційних рослинних джерел біологічно активних речовин, таких як плоди ягідних культур, зелений чай, лікарські трави (ромашка, м'ята, меліса) або прянощі, листя яких характеризується поєднанням високого вмісту фенольних сполук із незначною кількістю простих цукрів та органічних кислот. Це є важливою технологічною перевагою під час створення молочно-рослинних систем, оскільки не спричиняє істотного підвищення вмісту сухих речовин за рахунок легкозброджуваних вуглеводів, не потребує додаткового коригування рецептури та забезпечує стабільні органолептичні властивості продукту. Крім того, використання саме листя якона, а не бульб, відповідає сучасним принципам комплексної переробки рослинної сировини та безвідходних технологій, оскільки листя є малозатребуваною побічною продукцією під час вирощування цієї культури. Високий вміст хлорогенової, кавової та розмаринової кислот, флавоноїдів і антиоксидантів у поєднанні з доступністю сировини та можливістю її сушіння без суттєвих втрат біологічно активних компонентів визначає технологічну доцільність використання листя якона як рослинної складової добавки до молочно-рослинної.

Таким чином, порівняно з іншими традиційними рослинними інгредієнтами, листя якона характеризується сукупністю технологічних переваг, а саме високою концентрацією фенольних антиоксидантів, низьким вмістом простих цукрів, стабільністю під час сушіння, доступністю як побічної рослинної сировини та відповідністю концепції ресурсозберігаючих і безвідходних технологій, що обґрунтовує його вибір для виробництва молочно-рослинної добавки. (Yuan et al., 2022; Simon et al., 2024; Gudz, 2018).

Аналіз літератури доводить, що наявні технології екстрагування зосереджені на використанні води або водно-спиртових розчинів як екстрагентів для вилучення поживних речовин із рослинної сировини (Nielsen, 2017; Istasse et al., 2016). Практично відсутні дані щодо використання ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного як екстрагента поживних речовин, зокрема листя якона (Kolesnyk et al., 2025).

Отже, створення добавки молочно-рослинної (ДМР) шляхом екстрагування листя ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного є об’єктивно необхідним і актуальним напрямом повноцінної переробки молочної сироватки та рослинних ресурсів (Kolesnyk et al., 2025).

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Матеріалами досліджень були ультрафільтрат сироватки з-під сиру кисломолочного, листя якона та зразки добавки молочно-рослинної, отриманої шляхом екстракції підготовленого листя якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного.

Сировину – листя якона – надано Навчально-науково-виробничим центром «Дослідне поле «Докучаєвське». Рослинна сировина мала списоподібну форму, зелене стебло з антоціановими плямами у верхній частині. Листки великі (довжина пластинки до 32 см, ширина до 22 см), з нерівномірно зубчастими краями; з верхнього боку темно-зелені, з нижнього – світліші. Запах слабкий – можна порівняти з запахом молодого насіння соняшника. Смак гіркувато-солодкий (Kolesnyk et al., 2025).

Дослідження хімічного складу ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного: сухі речовини визначали гравіметричним методом, що полягає у висушуванні зразка при температурі 95–100°С до постійної маси; білок – методом К'єльдаля (ДСТУ ISO 8968-1:2003); вуглеводи – перманганатним методом (за Бертраном) (ДСТУ 5059:2008); зола – гравіметричним методом (ДСТУ ISO 5984-2004) після спалювання проби у муфельній печі при 500–600°С.

Сухі речовини під час екстрагування визначали гравіметричним методом, що полягає у висушуванні зразка за температури 95–100 °С до постійної маси.

Визначення органолептичних показників ДМР здійснювали згідно з ДСТУ ISO 6658:2005.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Результати аналізу та узагальнення даних, представлених в аналітичному огляді літературних джерел, свідчать, що одним із найбільш перспективних напрямів сучасних досліджень у галузі харчових технологій є науково обґрунтоване поєднання сировини тваринного та рослинного походження. Реалізація такого підходу забезпечує можливість формування харчових продуктів зі збалансованим хімічним складом, оптимальним співвідношенням нутрієнтів, а також підвищеною біологічною та фізіологічною цінністю.

Проведений аналіз сучасного стану виробництва та напрямів використання сироватки з-під кисломолочного сиру дозволяє зробити висновок про наявність суттєвого науково-практичного потенціалу її подальшої переробки як альтернативного джерела повноцінної тваринної сировини з метою раціонального використання у харчових технологіях. Водночас наявні технологічні рішення не забезпечують повною мірою комплексного використання побічних продуктів молочної промисловості.

У зв'язку з цим доцільним є використання ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного, а також введення до складу продуктів додаткових інгредієнтів із вираженими, стабільними та прогнозованими показниками якості, що дозволяє коригувати органолептичні характеристики, підвищувати харчову та біологічну цінність продуктів і розширювати асортимент (Kolesnyk et al., 2025).

Ультрафільтрат сироватки з-під сиру кисломолочного відзначається вищими показниками біологічної цінності та колоїдної стабільності порівняно з нативною сироваткою, що зумовлює зручність і прогнозованість результатів його використання у складі харчових систем. Перспективним напрямом модифікації фізико-хімічних та функціонально-технологічних властивостей сироватки з-під сиру кисломолочного є застосування рослинної сировини, зокрема листової частини рослини якон (*Smallanthus sonchifolius*), що належить до родини айстрові (*Asteraceae*).

Використання ультрафільтрату сироватки як екстрагенту забезпечить можливість поєднання біологічно цінних компонентів сироватки з-під сиру кисломолочного, яка раніше довела свою ефективність як основа лікувально-профілактичних харчових продуктів, зокрема напоїв, із дефіцитними нутрієнтами, що містяться у листі якона, з метою отримання продуктів із підвищеною харчовою цінністю.

Виходячи з цього, досліджено органолептичні, фізико-хімічні властивості та хімічний склад ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного, який використовувався як екстрагент для речовин листя якона.

За органолептичними показниками ультрафільтрат сироватки є однорідною прозорою рідиною з жовтуватим відтінком.

Фізико-хімічні показники ультрафільтрату:

- титрована кислотність 75…85 °Т;
- активна кислотність pH=4,4…4,5;
- густина 1017…1018 кг/м^3.

Хімічний склад ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Хімічний склад ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочног ($p \geq 0,95$, $n=5$)

Показник	**Вміст, %**
Вода	94,8±1,0
Сухі речовини, усього	5,4±0,1
Лактоза	4,0±0,1
Молочна кислота	0,7±0,03
Білки, усього (за К'єльдалем)	0,16±0,01
Ліпіди	0,04 (Сл.)
Мінеральні речовини (зола)	0,5±0,03

Джерело: розроблено автором.

Виходячи з хімічного складу ультрафільтрату, можна передбачити роль його основних компонентів у забезпеченні екстрагування. Вода є основним носієм екстракції, забезпечує масоперенесення екстрактивних речовин, сприяє набуханню клітинних стінок листя та полегшує дифузію речовин.

Молочна кислота (0,7 ± 0,03%) формує слабокисле середовище та може підвищувати проникність клітинних мембран рослинної тканини.

Можна прогнозувати ефективність процесу екстрагування при використанні ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного, що пояснюється зростанням іонної сили екстракційного середовища, сформованого завдяки високій концентрації низькомолекулярних вуглеводів і мінеральних іонів. Підвищена іонна сила сприяє зменшенню товщини дифузійного шару на межі «рослинна сировина – екстрагент», що, відповідно до положень теорії масопереносу, забезпечує прискорення дифузії цільових компонентів у рідкій фазі.

ДМР одержували методом екстрагування попередньо підготовленої листової сировини ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного. Підготовка рослинної сировини (листя якона) включала стадії миття, сушіння до масової частки вологи у межах 8–10% та подрібнення до дисперсності 1–2 мм. Конвективне сушіння до масової частки вологи 8–10% забезпечує стабільність рослинної сировини під час зберігання, краще збереження біоактивних сполук та оптимальні умови для подальшого екстрагування харчових компонентів ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного.

Ефективність екстракційного процесу визначається сукупністю технологічних чинників, зокрема ступенем подрібнення екстрагованого матеріалу, величиною гідромодуля, значенням pH екстрагента, температурним режимом і тривалістю екстрагування.

Обраний ступінь подрібнення сухого листя якона (1…2 мм) забезпечує збільшення питомої поверхні контакту фаз та інтенсифікацію масопереносу цільових компонентів у рідку фазу. Зменшення розміру часток нижче зазначеного діапазону призводить до

ущільнення шару рослинної сировини та агрегації часток, що ускладнює проникнення екстрагента і, як наслідок, знижує ефективність процесу екстрагування.

Для вивчення взаємодії основних факторів, що впливають на процес екстрагування харчових компонентів із листя якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного, крім експериментальних робіт, застосовано методи математичного моделювання із використанням програмного пакета MathCad. Адекватність розроблених математичних моделей підтверджено статистичною обробкою експериментальних даних. Для всіх моделей коефіцієнт детермінації становив R^2 = 0,96–0,99, що свідчить про високий ступінь відповідності між експериментальними та розрахунковими даними. Середня відносна похибка апроксимації не перевищувала 5%, а перевірка за критерієм Фішера засвідчила статистичну значущість моделей за рівня довірчої ймовірності 95%.

Ефективність переходу макро- та мікронутрієнтів з рослинної сировини в молочне середовище оцінювали за масовою часткою сухих речовин в екстракті. Результат дослідження маси вилучених сухих речовин залежно від гідромодуля, pH екстрагента та температури екстракції, що покладені в основу матриці планування експерименту, наведено в табл. 2. Вибір інтервалів зміни факторів обумовлений особливостями процесу екстрагування харчових компонентів із листя яблука ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного.

Залежність ефективності екстракції від гідромодуля та тривалості екстракції (за сталих t = 20…22 °C та pH екстрагента = 4,4…4,5) можна описати рівнянням 1. Математичну модель цього процесу наведено на рис. 1.

$$y_1 = -0{,}468 + 0{,}122x_1 + 0{,}026x_2 + (-6{,}771 \times 10^{-3})x_1^2 + (-2{,}984 \times 10^{-4})x_2^2 + (1{,}238 \times 10^{-3})x_1x_2 \quad (1)$$

де, y_1 – маса вилучених сухих речовин, г/100 г екстракту;

x_1 – гідромодуль, частин екстрагента до 1 частини підготовленого листя якона;

x_2 – тривалість екстракції, τ×60, с

Таблиця 2. Результат дослідження маси вилучених сухих речовин залежно від гідромодуля, pH екстрагента, температури екстракції, що покладені в основу матриці планування експерименту (p≥0,95, n=5)

Тривалість екстракції τ x 60, с	Дослідження гідромодуля (ГМ)		Тривалість екстракції τ x 60, с	Дослідження pH екстрагента		Тривалість екстракції τ x 60, с	Дослідження температури екстракції	
	ГМ, частин екстр-та до 1 ч. підгот. листя якона	$m_{вилуч. сух. реч.}$ г/100 г екстракту		pH екстр-та	$m_{вилуч. сух. реч.}$ г/100 г екстракту		t екстр., °C	$m_{вилуч. сух. реч.}$ г/100 г екстракту
0	4	0	0	4	0	0	20	0
70	4	0,62	70	4	1,35	70	20	1,3
0	12	0	0	5,6	0	0	60	0
70	12	1,33	70	5,6	0,5	70	60	1,64
0	8	0	0	4,8	0	0	40	0
70	8	1,2	70	4,8	1,07	70	40	1,57
30	4	0,48	30	4	1,1	30	20	1,05
30	12	1,07	30	5,6	0,38	30	60	1,48
30	8	0,87	30	4,8	0,83	30	40	1,33

Джерело: розроблено автором.

Отримані експериментально результати щодо ефективності екстрагування попередньо підготовленого листя якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного залежно від гідромодуля та тривалості екстракції (при сталих t=20…22ºС та $pH_{екстрагента}$=4,4…4,5) гарно корелюють із діапазоном оптимальних значень у математичній моделі процесу і наведені на рис 2.

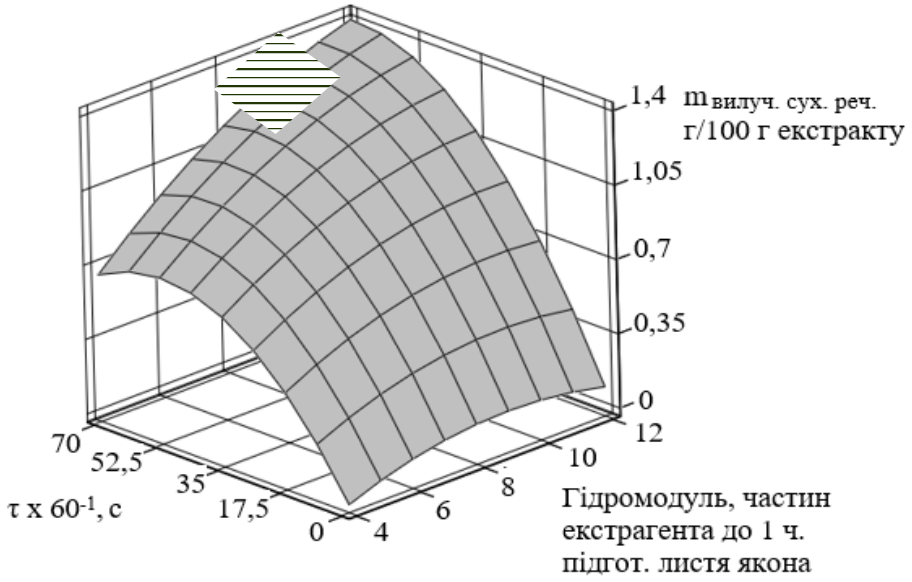

Рисунок 1. Математична модель екстрагування попередньо підготовленого листя якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного залежно від гідромодуля та тривалості екстракції (при сталих t=20…22ºС та $pH_{екстрагента}$=4,4…4,5)
Джерело: розроблено автором.

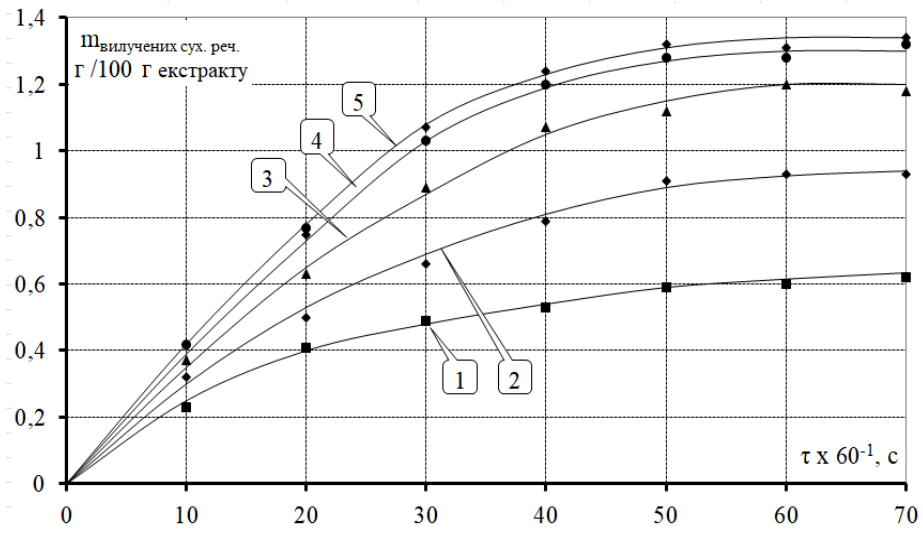

Рисунок 2. Динаміка екстрагування попередньо підготовленого листя якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного залежно від гідромодуля та тривалості екстракції (при сталих t=20…22ºС та $pH_{екстрагента}$=4,4…4,5): 1 – ГМ=1:4; 2 – ГМ=1:6; 3 – ГМ=1:8; 4 – ГМ=1:10; 5 – ГМ=1:12
Джерело: розроблено автором.

Із даних рис. 2 видно, що збільшення гідромодуля підвищує інтенсивність екстрагування біологічно активних речовин рослинної сировини у молочному середовищі. Оптимальним є гідромодуль сировина : екстрагент = 1 : 10, при цьому забезпечується вилучення сухих речовин листя якона у кількості 1,3 г/100 г екстракту протягом (50…60)×60

с. Під час подальшого збільшення кількості ультрафільтрату молочної сироватки, підвищення маси вилучених сухих речовин відбувається у межах похибки. Збільшення тривалості процесу екстракції понад 60×60 с є нераціональним через низьку продуктивність, спричиняє збільшення енергетичних витрат та зниження загальної ефективності процесу, що негативно впливає на економічну доцільність використання даного технологічного режиму.

Також, нами проведено комплекс досліджень щодо ефективності екстрагування підготовленої рослинної сировини якона залежно від pH екстрагента. Математична модель даного процесу описана рівнянням 2 та наведена на рис. 3, експериментальні результати – на рис. 4.

$$y_2 = -2{,}364 + 1{,}091x_1 + 0{,}069x_2 + (-0{,}122)x_1^2 + (-2{,}94 \times 10^{-4})x_2^2 + (-7{,}289 \times 10^{-3})x_1x_2 \quad (2)$$

де, y_2 – маса вилучених сухих речовин, г/100 г екстракту;

x_1 – pH екстрагента;

x_2 – тривалість екстракції, τ×60, с

Математичне моделювання (рис. 3) та експериментальні дані (рис. 4) показують, що оптимальним для екстрагування харчових компонентів із підготовленого листя якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного є pH екстрагента на рівні 4,4…4,5, при цьому забезпечується вилучення сухих речовин листя якона у кількості 1,3 г/100 г екстракту протягом (50…60)×60 с. При pH < 4 ступінь екстрагування зростає менш інтенсивно (до 1,4…1,42 г/100 г екстракту). Незважаючи на подальше, хоча і повільніше, вилучення речовин листя якона у більш кислому середовищі, оптимальним для отримання добавки молочно-рослинної з нейтральними органолептичними характеристиками залишається pH екстрагента на рівні 4,4…4,5, бо активна кислотність ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного складає саме 4,4…4,5, що виключає необхідність регулювати параметр додаванням розчинів гідрокарбонату натрію або лимонної кислоти.

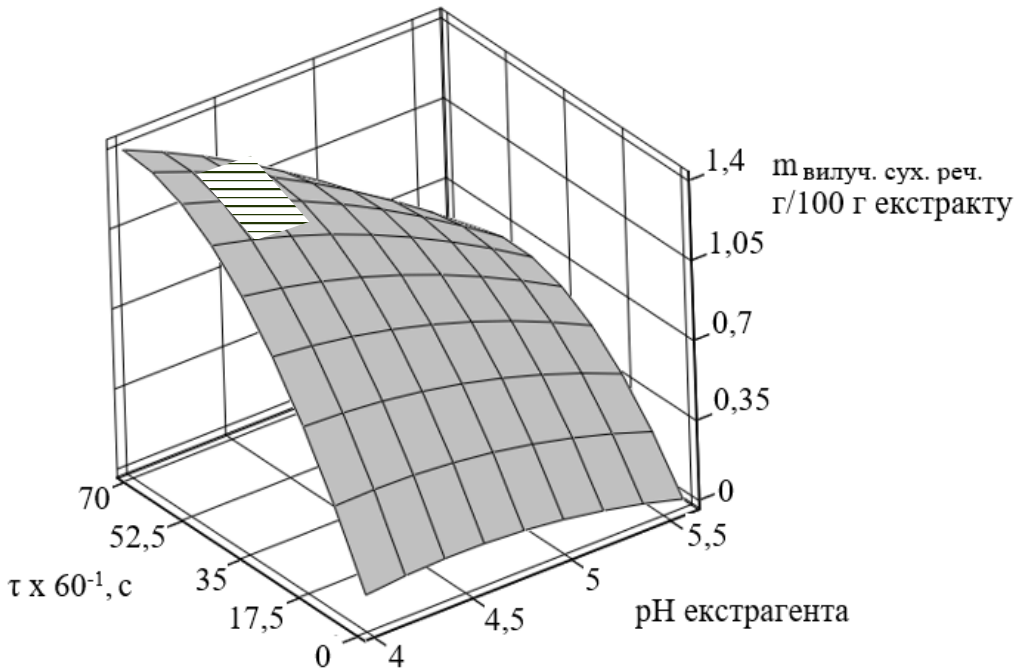

Рисунок 3. Математична модель екстрагування попередньо підготовленого листя якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного залежно від pH екстрагента та тривалості екстракції (при сталих t=20…22ºС та ГМ сировина : екстрагент = 1 : 10)

Джерело: розроблено автором.

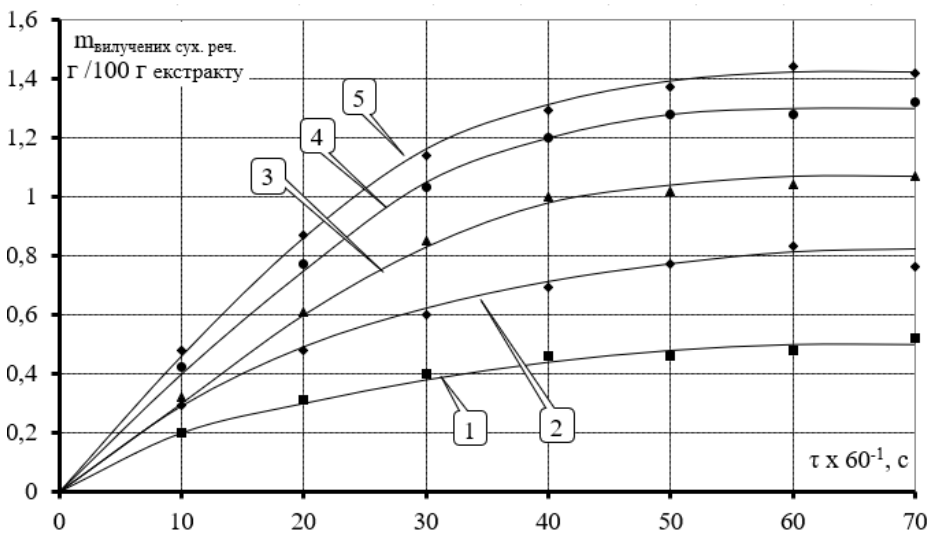

Рисунок 4. Динаміка екстрагування попередньо підготовленого листя якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного залежно від pH екстрагента та тривалості екстракції (при сталих t=20…22ºC та ГМ сировина : екстрагент = 1 : 10): 1 – pH=5,6; 2 – pH=5,2; 3 – pH=4,8; 4 – pH=4,4; 5 – pH=4,0

Джерело: розроблено автором.

Разом із цим, доцільним є дослідження впливу температури на ефективність екстракції підготовленого листя якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного (при сталих pH екстрагента = 4,4…4,5 та ГМ сировина : екстрагент = 1 : 10). Математична модель цього процесу може бути описана рівнянням 3.3 та наведена на рис. 5, експериментальні дані наведено на рис. 6.

$$y_3 = -0{,}291 + 0{,}014x_1 + 0{,}054x_2 + (-1{,}375 \times 10^{-4})x_1^2 + (-5{,}353 \times 10^{-4})x_2^2 + (1{,}118 \times 10^{-4})x_1x_2 \quad (3)$$

де, y_3 – маса вилучених сухих речовин, г/100 г екстракту;

x_1 – температура екстракції, °C;

x_2 – тривалість екстракції, τ×60, с

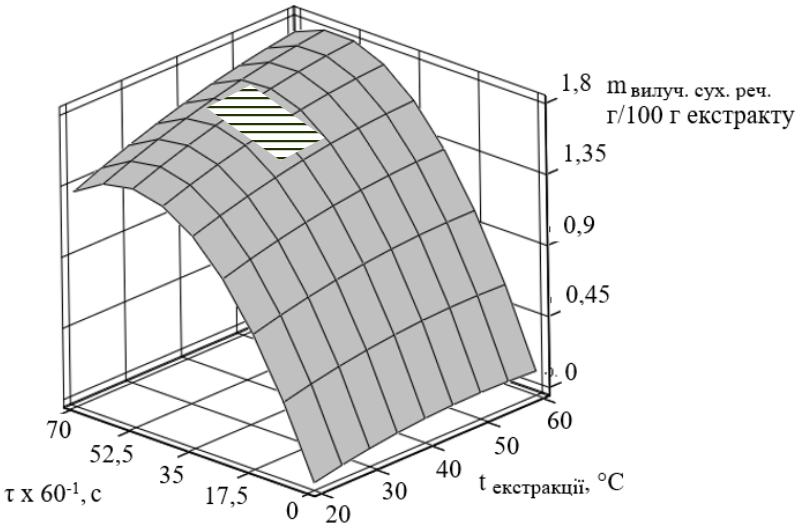

Рисунок 5. Математична модель екстрагування попередньо підготовленого листя якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного залежно від температури екстрагування та тривалості екстракції (при сталих pH екстрагента = 4,4…4,5 та ГМ сировина : екстрагент = 1 : 10)

Джерело: розроблено автором.

З рис. 5 та 6 видно, що з підвищенням температури збільшується кінетична енергія молекул речовин, що екстрагуються, вони рухаються з великими швидкостями, зростає інтенсивність дифузійного процесу. При виборі режимів теплового впливу враховували, що температура екстрагування не повинна перевищувати поріг денатураційних змін білків та призводити до руйнування вітамінів та органічних речовин.

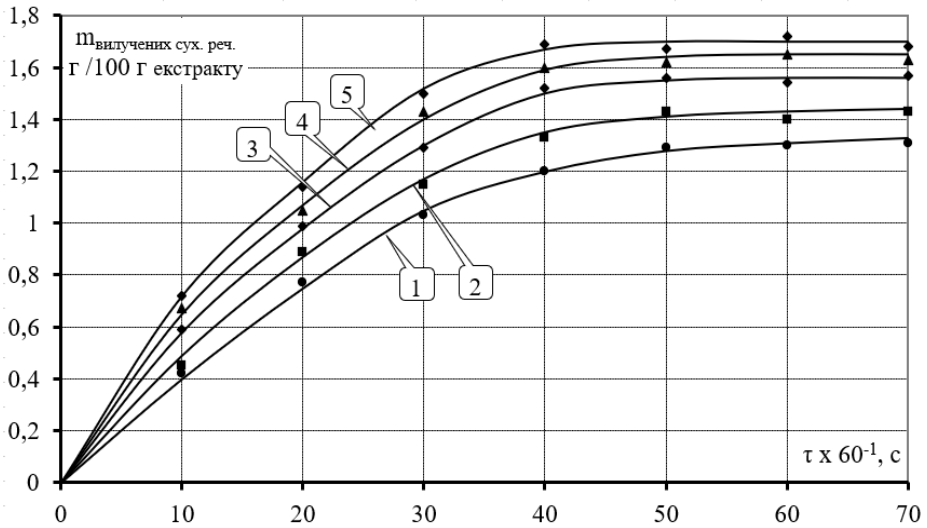

Рисунок 6. Динаміка екстрагування попередньо підготовленого листя якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного залежно від температури та тривалості екстракції (при сталих pH екстрагента = 4,4…4,5 та ГМ сировина : екстрагент = 1 : 10): 1 – t=20°C; 2 – t=30°C; 3 – t=40°C; 4 – t=50°C; 5 – t=60°C

Джерело: розроблено автором.

В інтервалі температур (20…60)°C ступінь вилучення фізіологічно цінних нутрієнтів якона лінійно залежить від температури, проте підтримувати температуру на рівні 60 °C недоцільно внаслідок термолабільності компонентів молочної та рослинної сировини. Встановлено, що оптимальною температурою екстрагування є 45±2°C, що виключає руйнування вітамінів та органічних речовин, при цьому масова частка сухих речовин в екстракті складає 1,6 г/100 г екстракту. Порівняльний аналіз раціональних параметрів процесу екстрагування показав, що збільшення тривалості термостатування (τ) від 10×60 с до 70×60 с приводить до зростання повноти екстрагування цільових компонентів. Це пояснюється інтенсифікацією масообмінних процесів і збільшенням часу контакту екстрагенту з сировиною. Водночас встановлено, що при τ = (45…50)×60 с спостерігається наближення системи до рівноважного стану і масова частка сухих речовин в екстракті при цьому складає 1,6 г/100 г екстракту. Подальше збільшення тривалості екстракції не забезпечує істотного зростання вмісту сухих речовин, оскільки швидкість переходу екстрактивних компонентів у розчин суттєво знижується, що робить подальше проведення процесу малоефективним з технологічної та енергетичної точок зору.

Таким чином, експериментально підтвердженими раціональними параметрами екстрагування харчових компонентів підготовленого листя якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного (отримання добавки молочно-рослинної (ДМР)) є: співвідношення обсягів твердої та рідкої фаз (гідромодуль) 1:10; pH екстрагента 4,4…4,5, за температури екстракції 45±2°C протягом τ = (45…50)×60 с. Це дає можливість вилучити сухі речовини на рівні 1,6 г с.р./100 г екстракту.

Для отримання ДМР екстрагування здійснювали на віброзмішувачі з дотриманням раціональних параметрів процесу. Екстракт відокремлювали від жому центрифугуванням при частоті обертання 4000 об/хв протягом (10…15)×60 с. Проводили очищення екстракту шляхом мембранної фільтрації (полімерні мікрофільтраційні мембрани, розмір пор 0,45 мкм,

тиск 0,1…0,3 МПа), після чого пастеризували за температури 60…70 °С протягом 10…20 с, далі охолоджували до 2…6 °С, що забезпечувало мікробіологічну стабільність продукту та створювало умови для його подальшого використання у технологіях продуктів харчування.

За необхідності тривалого зберігання ДМР, підвищення концентрації біологічно активних речовин, зменшення об'єму при транспортуванні може застосовуватися етап технологічного процесу – вакуумне концентрування ДМР до 10…15% сухих речовин (вакуум-випарний апарат, t = 45…55 °С; Р = 10…20 кПа; τ = 30…90 хв (залежно від об'єму та вмісту сухих речовин). Вакуумне концентрування є раціональним з міркувань забезпечення зниження температури кипіння води та мінімізації втрат термолабільних біологічно активних речовин, зокрема фенольних сполук і фруктанів, низьких енерговитрат.

У разі використання ДМР, як функціональної добавки у складі напоїв, вакуумне концентрування не проводиться, тому більш технологічно та економічно вигідно використовувати саме рідку ДМР.

Реалізація способу виробництва ДМР може бути здійснена за умов традиційних технологій з корекцією на розроблені режими. Запропоновані технологічні режими отримання ДМР мають універсальний характер, оскільки визначаються не конструкцією обладнання, а фізико-хімічними умовами перебігу процесу екстрагування. Під час переходу від лабораторного до промислового масштабу зберігаються основні керовані параметри процесу (гідромодуль, температура, активна кислотність та тривалість екстрагування), що дозволяє адаптувати технологію до різних типів екстракційного обладнання. При цьому під час промислового впровадження можуть потребувати уточнення параметри перемішування, теплообміну та тривалості виходу системи на робочий режим, що не змінює встановлених раціональних значень основних технологічних факторів.

Рецептуру ДМР наведено в табл. 3. Технологічну схему ДМР зображено на рис. 7.

Таблиця 3. Рецептура ДМР

Найменування сировини	**Витрата сировини на 100 кг, кг**	
	брутто	**нетто**
Листя якона (вологість 78…80%)	45	45
Підготовлене листя якона (вологість 8…10%)	10,0	10,0
Ультрафільтрат сироватки з-під сиру кисломолочного	100,0	100,0
Разом (стадія екстрагування)	–	110,0
ДМР	–	100,0

Джерело: розроблено автором.

Відповідно до табл. 3, маса добавки молочно-рослинної відповідає масі використаного ультрафільтрату, а зростання вмісту сухих речовин зумовлено перерозподілом компонентів між твердою та рідкою фазами.

Водночас практична реалізація запропонованої технології потребує врахування окремих технологічних факторів, які можуть впливати на стабільність процесу в промислових умовах. До таких факторів належать мікробіологічний стан ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного, можливі зміни його фізико-хімічних властивостей під час зберігання, а також природна сезонна варіабельність складу молочної та рослинної сировини. Оскільки ультрафільтрат містить лактозу, мінеральні речовини та залишкові азотисті сполуки, дотримання належних санітарно-гігієнічних умов, своєчасне проведення

пастеризації та контроль термінів зберігання є необхідними умовами забезпечення стабільної якості готової добавки. Разом із цим, встановлені раціональні параметри екстрагування визначаються фізико-хімічними характеристиками екстракційного середовища і можуть бути відтворені за умови стандартизації вихідної сировини.

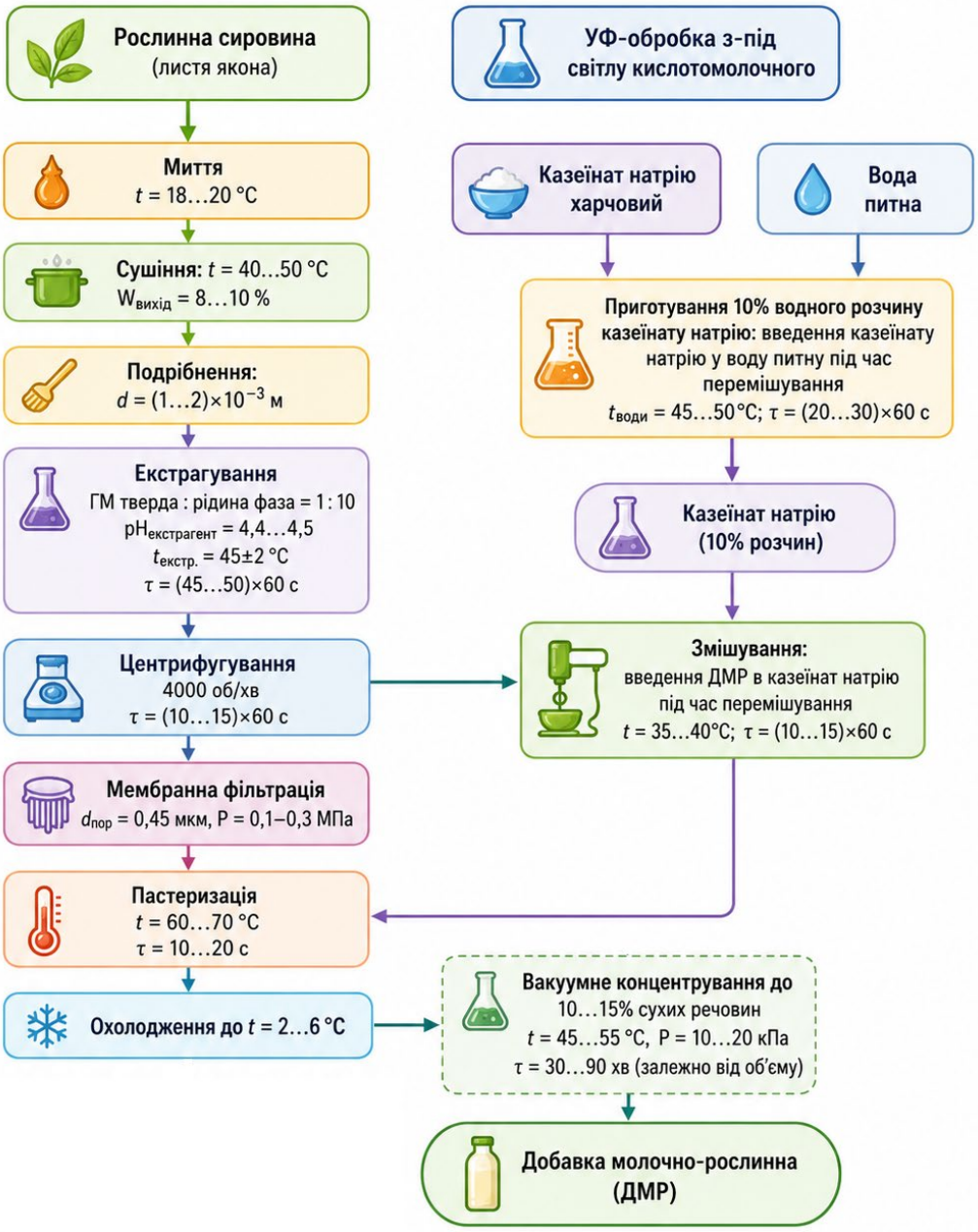

Рисунок 7. Технологічна схема виробництва ДМР
Джерело: розроблено автором.

З технологічної та економічної точки зору запропонована технологія має низку переваг порівняно з традиційними способами одержання рослинних екстрактів. На відміну від екстрагування водно-спиртовими розчинами, застосування ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного виключає необхідність у використанні органічних розчинників, їх подальшому видаленні та утилізації, що сприяє спрощенню технологічного процесу й зниженню експлуатаційних витрат. Одночасно ультрафільтрат виконує подвійну функцію: є екстрагувальним середовищем і складовою готової добавки, завдяки чому відсутні втрати екстрагенту та не виникає необхідності його відокремлення після завершення процесу.

Використання побічного продукту мембранної переробки молочної сироватки дозволяє підвищити рівень комплексної переробки вторинної молочної сировини, скоротити витрати на її утилізацію та збільшити додану вартість кінцевої продукції. У порівнянні з традиційним водним екстрагуванням запропонована технологія забезпечує не лише вилучення біологічно активних речовин рослинної сировини, а й одночасне збереження у продукті цінних компонентів ультрафільтрату, що усуває необхідність додаткового внесення окремих функціональних інгредієнтів. Це свідчить про ресурсозберігаючий характер технології та її потенційну економічну ефективність при промисловому впровадженні.

За органолептичними характеристиками ДМР є прозорою рідиною, світло-бурштинового кольору, з приємним кисло-солодким смаком, з характерним кавово-молочним присмаком та слабко вираженою терпкістю у післясмаку. Це, ймовірно, обумовлено присутністю компонентів якона, у листках якого за літературними даними міститься 60 летких сполук, але в основному специфічний аромат пов'язаний з присутністю похідних коричної кислоти (кавова та хлорогенова кислоти) (Gudz, 2018).

Розроблена технологія ДМР дозволяє поєднати харчову цінність молочної основи із оздоровчими властивостями біологічно активних речовин рослинної природи та створити новий функціональний компонент, що може бути використано в рецептурах низки харчових продуктів.

Отримані результати підтверджують перспективність використання ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного як технологічної основи для створення молочно-рослинних харчових систем. На відміну від традиційних підходів, де молочна сироватка або продукти її переробки використовуються переважно як інгредієнт готових харчових продуктів, у запропонованій технології ультрафільтрат сироватки з-під кисломолочного сиру виконує функцію екстрагувального середовища, що дозволяє одночасно вилучати біологічно активні речовини з рослинної сировини та формувати склад майбутньої добавки.

Ryan і Walsh (2016) зазначають, що молочна сироватка є одним із найбільш перспективних видів вторинної молочної сировини завдяки високому вмісту лактози, мінеральних речовин і низькомолекулярних компонентів, однак основні напрями її використання пов'язані з виробництвом білкових концентратів, лактози та кормових продуктів (Ryan & Walsh, 2016). Аналогічної думки дотримуються Buchanan та співавтори (2023), які відзначають зростання кількості досліджень щодо комплексної переробки молочної сироватки, проте практично не розглядають можливості використання ультрафільтрату як екстрагента для рослинної сировини (Buchanan et al., 2023). Таким чином, запропонований у роботі підхід розширює наявні напрями використання продуктів мембранної переробки молока.

Встановлені раціональні параметри екстрагування (гідромодуль 1:10, pH 4,4…4,5, температура 45±2 °C, тривалість 45…50 хв) узгоджуються із загальними закономірностями екстракційних процесів, описаними Nielsen (2017). Автор зазначає, що збільшення температури та часу контакту між екстрагентом і рослинною тканиною підвищує швидкість масопереносу, однак надмірне підвищення температури може спричиняти деградацію термолабільних біологічно активних речовин (Nielsen, 2017). Саме тому використання помірної температури 45±2 °C забезпечує компроміс між інтенсивністю екстрагування та збереженням біологічно активних компонентів листя якона.

Результати дослідження також узгоджуються з роботою Gudz (2018), яка встановила високий вміст фенольних сполук, органічних кислот та біологічно активних компонентів у листі якона і обґрунтувала можливість його використання як перспективної лікарської рослинної сировини. Разом із тим дослідження автора були зосереджені переважно на фармакогностичній характеристиці рослини і не стосувалися розроблення харчових технологій або використання молочної основи як екстрагента.

Подібні результати щодо антиоксидантного потенціалу листя якона наведені також Yuan та співавтори (2022), які методом ВЕРХ визначили, що найбільшу біологічну

активність проявляють хлорогенова кислота, кофеїнова кислота та інші фенольні сполуки (Yuan et al., 2022). Simon із співавторами (2024) додатково показали, що вміст антиоксидантів у листі значною мірою залежить від стадії розвитку рослини, що підтверджує необхідність стандартизації рослинної сировини під час виробництва харчових добавок (Simon et al., 2024). У даній роботі ці результати враховано шляхом використання стандартизованої підготовленої сировини та оптимізації режимів екстрагування.

Особливу увагу заслуговує взаємодія компонентів молочної та рослинної сировини. Jakobek (2015) показав, що поліфеноли здатні взаємодіяти з білками, вуглеводами та іншими компонентами харчових систем, впливаючи на їхню антиоксидантну активність, стабільність і технологічні властивості (Jakobek, 2015). Хоча ультрафільтрат практично не містить білків, він характеризується високим вмістом лактози та мінеральних речовин, які можуть змінювати іонну силу екстракційного середовища та сприяти переходу екстрактивних речовин із рослинної тканини. Саме цим, імовірно, пояснюється ефективність запропонованого екстрагента.

Відомо також, що фенольні сполуки широко використовуються у харчових технологіях як природні антиоксиданти. Albuquerque із співавторами (2021) зазначають, що перспективним напрямом є створення комплексних функціональних інгредієнтів, які поєднують декілька груп біологічно активних речовин і можуть використовуватися як універсальні компоненти харчових продуктів (Albuquerque et al., 2021). Запропонована ДМР відповідає цьому підходу, оскільки поєднує природні вуглеводи ультрафільтрату, фенольні сполуки, органічні кислоти та інші екстрактивні речовини листя якона.

На відміну від більшості відомих технологій, що передбачають введення вже готових рослинних екстрактів до молочних продуктів або напоїв, запропонований спосіб отримання ДМР дозволяє отримувати екстракт без використання органічних розчинників, оскільки ультрафільтрат сироватки одночасно є екстрагентом і складовою готової добавки. Це спрощує технологічний процес, підвищує рівень комплексної переробки вторинної молочної сировини та виключає стадію видалення екстрагента після завершення екстракції.

Таким чином, результати дослідження не суперечать сучасним уявленням про процеси екстрагування біологічно активних речовин і використання молочної сировини, але суттєво розширюють їх. На відміну від відомих досліджень, у яких молочна сироватка використовується переважно як інгредієнт готових продуктів, а рослинні екстракти отримують водою або водно-спиртовими розчинами, у запропонованій роботі вперше науково обґрунтовано використання ультрафільтрату сироватки з-під кисломолочного сиру як екстрагента листя якона. Це створює передумови для розроблення нового класу молочно-рослинних добавок, спрямованих на комплексне використання вторинної молочної сировини та одержання функціональних інгредієнтів із підвищеною харчовою і біологічною цінністю.

ВИСНОВКИ. Доведено доцільність використання ультрафільтрату сироватки з-під сиру кисломолочного та підготовленого листя якону для створення ДМР. Добавку отримують шляхом екстрагування харчових компонентів підготовленого листя якона ультрафільтратом сироватки з-під сиру кисломолочного за наступних технологічних режимів: співвідношення обсягів твердої та рідкої фаз (гідромодуль) 1:10; pH екстрагента 4,4…4,5, за температури екстракції 45±2°C протягом τ = (45…50)×60 с. Це дає змогу вилучити сухі речовини на рівні 1,6 г с.р./100 г екстракту.

За органолептичними характеристиками ДМР є прозорою рідиною, без осаду, світло-бурштинового кольору, з приємним кисло-солодким смаком, характерним кавово-молочним присмаком і слабко вираженою терпкістю в післясмаку.

Розроблена технологія ДМР дозволяє поєднати харчову цінність молочної основи – ультрафільтрату сироватки із цінними властивостями біологічно активних речовин якона та створити новий функціональний компонент, що може бути використано в рецептурах низки харчових продуктів.

Подяки. Немає
Конфлікт інтересів. Немає.

References

Albuquerque, B. R., Heleno, S. A., Oliveira, M. B. P. P., Barros, L., & Ferreira, I. C. F. R. (2021). Phenolic compounds: Current industrial applications, limitations and future challenges. *Food & Function*, 12(1), 14-29. https://doi.org/10.1039/D0FO02324H

Buchanan, D., Martindale, W., Romeih, E., & Hebishy, E. (2023). Recent advances in whey processing and valorisation: Technological and environmental perspectives. *International Journal of Dairy Technology*, 76(2), 291-312. https://doi.org/10.1111/1471-0307.12935

Chessum, K., Chen, T., Kam, R., & Yan, M. (2023). A Comprehensive Chemical and Nutritional Analysis of New Zealand Yacon *Concentrate. Foods*, 12(1), 74. https://doi.org/10.3390/foods12010074

Gibson, G. R., Hutkins, R., Sanders, M. E., Prescott, S. L., Reimer, R. A., Salminen, S. J., Scott, K., Stanton, C., Swanson, K. S., Cani, P. D., Verbeke, K., & Reid, G. (2017). The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nature Reviews Gastroenterology & Hepatology*, 14(8), 491-502. https://doi.org/10.1038/nrgastro.2017.75

Gudz, N. A. (2018). Pharmacognostic study of stevia (Stevia rebaudiana Bertoni) and yacon (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp. & Endl.) H. Robinson) (Doctoral dissertation, National University of Pharmacy, Kharkiv, Ukraine).

Istasse, T., Jacquet, N., Berchem, T., Haubruge, E., Nguyen, B. K., & Richel, A. (2016). Extraction of honey polyphenols: Method development and evidence of cis isomerization. *Analytical Chemistry Insights*, 11, 49-57. https://doi.org/10.4137/ACI.S39739

Jakobek, L. (2015). Interactions of polyphenols with carbohydrates, lipids and proteins. Food Chemistry, 175, 556-567. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.12.013

Kolesnyk, V., Polupan, V., Penkina, N., Sorokina, S., Penkin, A., Bushtakov, I., & Veretennikov, O. (2025). Substantiation of the dairy-plant additives technology for use in functional products. *Food Science and Technology*, 18(4), 63-73. https://doi.org/10.15673/fst.v18i4.3145

Nielsen, S. S. (Ed.). (2017). Food analysis (5th ed.). Cham: Springer. 602. https://doi.org/10.1007/978-3-319-45776-5

Nkhata, S. G., Ayua, E., Kamau, E. H., & Shingiro, J. B. (2018). Fermentation and germination improve nutritional value of cereals and legumes through activation of endogenous enzymes. Food Science & Nutrition, 6(8), 2446-2458. https://doi.org/10.1002/fsn3.846

Ryan, M. P., & Walsh, G. (2016). The biotechnological potential of whey. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 15(3), 479-498. https://doi.org/10.1007/s11157-016-9402-1

Shahidi, F., & Yeo, J. (2018). Bioactivities of phenolics by focusing on suppression of chronic diseases: A review. *International Journal of Molecular Sciences*, 19(6), 1573. https://doi.org/10.3390/ijms19061573

Sharma, D., Thakur, A., Sharma, R., Thakur, M., Kumari, N., Kumar, P., et al. (2024). A review on physicochemical characteristics, phytochemical and therapeutic potential of yacon (*Smallanthus sonchifolius* (Poepp.) H. Robinson) flour. *Annals of Phytomedicine*, 13(1), 253-267. https://doi.org/10.54085/ap.2024.13.1.26

Simon, E. M., Mburu, M. W., & Koskei, R. K. (2024). The impact of varying stages of maturity on the chemical composition and antioxidant activity of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) leafy vegetable. *European Journal of Agriculture and Food Sciences*, 6(3), 1-7. https://doi.org/10.24018/ejfood.2024.6.3.782

State Committee of Ukraine for Technical Regulation and Consumer Policy. (2003). DSTU ISO 8968-1:2003. Milk. Determination of nitrogen content. Part 1: Kjeldahl method (ISO 8968-1:2001, IDT). Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine.

State Committee of Ukraine for Technical Regulation and Consumer Policy. (2008). DSTU 5059:2008. Confectionery products. Methods for determination of sugars. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine.

State Committee of Ukraine for Technical Regulation and Consumer Policy. (2004). DSTU ISO 5984:2004. Animal feeding stuffs. Determination of crude ash (ISO 5984:2002, IDT). Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine.

State Committee of Ukraine for Technical Regulation and Consumer Policy. (2005). DSTU ISO 6658:2005. Sensory analysis. Methodology. General guidance (ISO 6658:1985, IDT). Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine.

Yuan, X.-Y., Li, Z.-Y., Chen, X.-L., Ding, X.-Q., Zhou, Y.-P., Wang, X.-Y., & Li, X.-Y. (2022). Rapid screening of antioxidant activities components from yacon (*Smallanthus sonchifolius Poepp. and Endl.*) leaves by variable selection based on weight analysis. *International Journal of Food Properties*, 25(1), 1948-1957. https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2114494

УДК 637.5.04:636.934.57
https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2026.39

ОЦІНКА МІНЕРАЛЬНОГО СКЛАДУ І ПОКАЗНИКІВ БЕЗПЕЧНОСТІ М'ЯСА НУТРІЇ

Ірина Василівна Момот
здобувач PhD
https://orcid.org/0009-0002-2899-5532
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, вул. Виставкова,16, м. Київ, Україна
Валентина Миколаївна Ісраелян
кандидат технічних наук, доцент
https://orcid.org/0000-0002-7242-3227
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, вул. Виставкова,16, м. Київ, Україна

Анотація. У роботі представлено результати дослідження мінерального складу м'яса нутрії (Myocastor coypus), яке розглядається як перспективна сировина для виробництва м'ясних продуктів підвищеної біологічної цінності. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю розширення сировинної бази м'ясної галузі та пошуком альтернативних видів сировини з високим вмістом біологічно доступних мінеральних елементів.

Дослідження проводили на зразках м'язової тканини нутрії із застосуванням фізико-хімічних методів аналізу. Вміст мінеральних елементів визначали після відповідної підготовки проб із використанням атомно-абсорбційної спектрометрії. У ході роботи встановлювали концентрації основних макроелементів і ряду мікроелементів, а також оцінювали показники безпечності за вмістом токсичних елементів і радіонуклідів відповідно до чинних нормативних вимог. Отримані результати узагальнювали з позиції їх використання у технологіях м'ясних продуктів.

Встановлено, що м'ясо нутрії характеризується наявністю комплексу мінеральних елементів у фізіологічно значущих кількостях. Серед макроелементів домінує калій, тоді як серед мікроелементів найбільші концентрації встановлено для цинку та заліза. Інші елементи представлені у менших кількостях, проте відіграють важливу роль у ферментативних і регуляторних процесах. Отримані дані свідчать про доцільність використання м'яса нутрії як сировини для виробництва м'ясних продуктів із підвищеною харчовою цінністю.

Аналіз показників безпечності підтвердив відповідність досліджуваних зразків встановленим нормативам. У досліджуваних пробах не виявлено перевищення допустимих рівнів токсичних елементів і радіонуклідів. Це свідчить про належний екологічний стан умов вирощування тварин та відсутність суттєвого техногенного впливу на формування показників якості м'ясної сировини. Узагальнення отриманих результатів дозволяє розглядати м'ясо нутрії як перспективний компонент для розроблення нових видів м'ясних продуктів, зокрема, функціонального призначення.

У цілому результати дослідження підтверджують перспективність використання м'яса нутрії у технологіях м'ясних продуктів та обґрунтовують доцільність його подальшого впровадження у виробництво.

Ключові слова: макроелементи, мікроелементи, біологічна цінність, альтернативна м'ясна сировина, січені м'ясні напівфабрикати, функціональні харчові продукти.

 Creative Commons Attribution 4.0 International Public License

УДК 637.5.04:636.934.57
https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2026.39

ASSESSMENT OF MINERAL COMPOSITION AND SAFETY INDICATORS OF NUTRITION MEAT

Iryna Momot
Postgraduate student
https://orcid.org/0009-0002-2899-5532
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
03041, Vystavkova St., 16, Kyiv, Ukraine
Valentyna Israelian
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
https://orcid.org/0000-0002-7242-3227
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
03041, Vystavkova St., 16, Kyiv, Ukraine

Abstract. The paper presents the results of a study on the mineral composition of nutria (Myocastor coypus) meat, considered a promising raw material for producing meat products with enhanced biological value. The relevance of the study lies in the need to expand the raw material base of the meat industry and to identify alternative raw materials rich in bioavailable mineral elements.

The study was conducted using nutria muscle tissue samples and physicochemical analytical methods. Mineral composition was determined after sample preparation by atomic absorption spectrometry. Concentrations of major macroelements and selected trace elements were determined, and safety indicators were assessed by measuring toxic elements and radionuclides in accordance with current regulatory requirements.

The results showed that nutria meat contains physiologically significant amounts of mineral elements. Potassium was the predominant macroelement, whereas zinc and iron were the major trace elements. Other elements were present in lower concentrations but play important roles in enzymatic and regulatory processes. The findings confirm the feasibility of using nutria meat as a raw material for producing meat products with enhanced nutritional value.

Safety assessment confirmed compliance of the analyzed samples with established regulatory limits. No excessive levels of toxic elements or radionuclides were detected, indicating favorable environmental conditions for animal rearing and the absence of significant anthropogenic contamination that would affect meat quality. The results obtained support the use of nutria meat in meat-product technologies and its application in developing new meat products, including functional foods. They also provide a scientific basis for further development of nutria-based meat products with improved nutritional quality and consumer value.

Keywords: macroelements, trace elements, biological value, alternative meat raw material, chopped meat semi-finished products, functional food products.

ВСТУП. Мінеральні речовини відіграють важливу роль у забезпеченні життєдіяльності організму людини, беручи участь у формуванні структурних компонентів тканин, регуляції обмінних процесів, функціонуванні ферментативних систем і підтриманні гомеостазу. Макро- та мікроелементи необхідні для нормального функціонування нервової, серцево-судинної та імунної систем, а також для забезпечення процесів кровотворення, антиоксидантного захисту та регуляції енергетичного обміну (Wu et al., 2014). Оскільки організм людини не здатний самостійно синтезувати мінеральні речовини, їхнім основним джерелом є продукти харчування.

Важливим джерелом мінеральних речовин є продукти тваринного походження, зокрема м’ясо. Завдяки високій біологічній цінності та значній біодоступності поживних компонентів

м'ясо забезпечує організм білками, незамінними амінокислотами, вітамінами та мінеральними елементами. М'ясна сировина містить значні кількості заліза, цинку, калію, магнію та інших елементів, які відіграють важливу роль у забезпеченні фізіологічних потреб організму та підтриманні метаболічних процесів (Biesalski, 2005; Williams, 2007; Juárez et al., 2021).

У сучасній науковій літературі значна увага приділяється оцінці ролі м'ясних продуктів та їхнього впливу на здоров'я людини. З одного боку, м'ясо є джерелом необхідних нутрієнтів, а з іншого – активно обговорюються питання оптимального рівня його споживання (Leroy & Cofnas, 2019; Neff et al., 2018). У цьому контексті особливої актуальності набуває дослідження хімічного складу м'ясної сировини, зокрема, вмісту мінеральних елементів, які мають високу біологічну доступність і беруть участь у метаболічних процесах організму (Pighin et al., 2016).

Останніми роками зростає інтерес до використання нетрадиційних видів м'ясної сировини, що здатні розширити сировинну базу м'ясної промисловості та характеризуються високою харчовою цінністю. До таких видів належить м'ясо диких і напівдиких тварин, яке відзначається сприятливим хімічним складом, відносно низьким вмістом жиру та підвищеним вмістом біологічно активних компонентів (Hoffman & Wiklund, 2006).

Одним із перспективних джерел нетрадиційної м'ясної сировини є нутрія (*Myocastor coypus*). За даними сучасних досліджень, м'ясо нутрії характеризується високим вмістом повноцінного білка, сприятливим амінокислотним складом, відносно низьким вмістом жиру та високою харчовою цінністю. Крім того, воно містить комплекс мінеральних елементів і може розглядатися як перспективна сировина для виробництва харчових продуктів підвищеної біологічної цінності (Saadoun & Cabrera, 2019).

Незважаючи на наявність окремих досліджень щодо хімічного складу м'яса нутрії, питання детальної оцінки його елементного складу та потенціалу як джерела макро- і мікроелементів потребує подальшого вивчення. У зв'язку з цим дослідження мінерального складу м'яса нутрії є актуальним науковим завданням, результати якого можуть бути використані під час розроблення нових м'ясних продуктів із покращеними харчовими властивостями.

Метою дослідження є визначення мінерального складу м'яса нутрії та оцінка його потенціалу як джерела основних макро- й мікроелементів.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. Дослідження харчової цінності м'ясної сировини є важливим напрямом сучасної харчової науки, оскільки м'ясо та м'ясні продукти залишаються вагомим джерелом білків, жирів, вітамінів і мінеральних речовин у харчуванні людини. P. Williams (2007) зазначає, що червоне м'ясо характеризується значною поживною цінністю та є важливим джерелом біологічно доступних нутрієнтів, зокрема заліза, цинку, вітамінів групи B і жирних кислот. Автор підкреслює, що саме висока біодоступність окремих компонентів визначає вагому роль м'яса у забезпеченні фізіологічних потреб організму.

Питання ролі м'яса у харчуванні людини та його впливу на здоров'я розглядали D. Pighin, A. Pazos, V. Chamorro та співавт. (2016). Дослідники відзначають, що м'ясо є важливим джерелом протеїну, жиру та функціонально значущих сполук, а його харчова цінність значною мірою залежить від особливостей виробничої системи, годівлі тварин, генетичних чинників і післязабійної обробки. На їхню думку, якісні характеристики м'яса мають безпосередній зв'язок з його поживною цінністю та потенційним впливом на здоров'я людини.

Значну увагу в сучасних дослідженнях приділено м'ясу нетрадиційних і диких видів тварин. L. C. Hoffman und E. Wiklund (2006) зазначає, що м'ясо диких і напівдиких тварин викликає зростаючий інтерес споживачів завдяки високій харчовій цінності, відносно низькому вмісту жиру та специфічним органолептичним властивостям. На їхню думку, така сировина може розглядатися як перспективна альтернатива традиційним видам м'яса, особливо в контексті розширення асортименту продуктів із підвищеною біологічною цінністю.

Сучасні тенденції розвитку м'ясної галузі та підходи до створення нових м'ясних продуктів висвітлені у роботі M. Pateiro, R. Domínguez-Valencia та J. M. Lorenzo (2021). Дослідники підкреслюють, що сучасні м'ясні продукти формуються з урахуванням вимог споживачів до харчової цінності, натуральності та функціональних властивостей. У дослідженні наголошується, що хімічний склад м'ясної сировини, зокрема вміст жиру та співвідношення поживних компонентів, є визначальним чинником формування якості та споживних властивостей готового продукту.

Окремий напрям досліджень присвячений вивченню ліпідної фракції м'яса та її впливу на якість продукції. R. Domínguez, M. Pateiro, M. Gagaoua та співавт. (2019) зазначають, що м'ясо є складною біологічною системою, до складу якої входять білки, ліпіди, вітаміни та інші біологічно активні сполуки. Автори зазначають, що ліпіди істотно впливають на смак, ніжність, соковитість і загальну харчову цінність м'яса. Водночас зазначають, що стабільність ліпідної фракції має вирішальне значення для збереження якості м'ясної сировини та готової продукції.

Особливий інтерес для цього дослідження становить м'ясо нутрії як нетрадиційний вид м'ясної сировини. A. Saadoun та M. C. Cabrera (2019) у своєму огляді показав, що м'ясо нутрії (*Myocastor coypus*) характеризується високою харчовою цінністю, сприятливими технологічними властивостями, значним вмістом повноцінного білка та відносно низьким вмістом жиру. Крім того, у роботі відзначено сприятливий жирнокислотний склад цього виду м'яса, що підвищує його дієтичні властивості та перспективність для використання у виробництві продуктів здорового харчування.

Результати експериментальних досліджень також підтверджують перспективність використання м'яса нутрії як цінної м'ясної сировини. Зокрема, показано, що показники складу туші, фізико-хімічні та сенсорні характеристики м'яса нутрії можуть змінюватися залежно від віку тварин, статі та режиму годівлі. Ці фактори впливають на формування якісних показників м'ясної сировини та її технологічних властивостей, що має важливе значення для подальшого використання такого м'яса у виробництві харчових продуктів (Tůmová et al., 2021).

Дослідження хімічного складу м'яса нутрії також підтверджують його високу поживну цінність. За даними Hascik та Pavelková (2023), м'ясо нутрії характеризується значним вмістом білка, помірним вмістом жиру та сприятливими фізико-хімічними показниками, що робить його перспективною сировиною для виробництва м'ясних продуктів. Водночас поряд із основними нутрієнтами суттєве значення має і мінеральний склад м'ясної сировини. Макро- та мікроелементи, що входять до складу м'яса, беруть участь у регуляції обмінних процесів, функціонуванні ферментних систем та підтриманні фізіологічних функцій організму людини, тому їхній вміст у м'ясній сировині є одним із показників її харчової цінності.

Таким чином, аналіз наукових джерел свідчить про значний інтерес дослідників до вивчення харчової цінності м'яса, його ліпідного складу та можливостей використання нетрадиційних видів м'ясної сировини. Водночас, попри наявність робіт, присвячених загальній характеристиці м'яса нутрії, питання його елементного складу та оцінки значення в забезпеченні фізіологічних потреб організму людини в макро- та мікроелементах залишається недостатньо висвітленим, що й зумовлює актуальність проведення даного дослідження.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Об'єктом дослідження було м'ясо нутрії (*Myocastor coypus*), отримане від трьох клінічно здорових самок віком 7 місяців із середньою живою масою 3,0 ± 0,5 кг, вирощених у приватному господарстві Черкаської області. Тварини утримувалися в однакових умовах і отримували стандартний раціон. Для дослідження відбирали зразки м'язової тканини після забою тварин відповідно до вимог репрезентативності дослідного матеріалу. Вибір тварин одного віку, однієї статі та за однакових умов утримання і годівлі дозволив мінімізувати вплив біологічних факторів на формування мінерального складу м'яса.

Підготовка проб включала видалення сполучної тканини та сторонніх включень, подрібнення і гомогенізацію м'язової тканини до однорідного стану. До проведення аналізів підготовлені зразки зберігали за температури не вище 4 °С.

Аналітичні дослідження виконували у випробувальному центрі Державного науково-дослідного інституту з лабораторної діагностики та ветеринарно-санітарної експертизи з використанням обладнання лабораторії атомно-абсорбційної спектрометрії.

Вміст мінеральних елементів у досліджуваних зразках визначали після попередньої мінералізації проб методом сухого озолення відповідно до вимог ДСТУ 7670:2014 (State Standard of Ukraine, 2014). Процес озолення здійснювали в муфельній печі за температури 450–550 °С до отримання зольного залишку світло-сірого кольору. Отриману золу розчиняли в розчині азотної кислоти, після чого об'єм доводили до заданого значення дистильованою водою.

Кількісне визначення макроелементів (калію, кальцію, магнію) та мікроелементів (заліза, цинку, міді, нікелю, алюмінію, марганцю, хрому, молібдену та кобальту) здійснювали методом атомно-абсорбційної спектрометрії відповідно до вимог ДСТУ EN ISO 7980:2022 та ДСТУ EN 14082:2019 (State Standard of Ukraine, 2022; State Standard of Ukraine, 2019).

З метою оцінки безпечності м’ясної сировини визначали вміст токсичних елементів, зокрема кадмію, свинцю, миш’яку та ртуті, використовуючи фізико-хімічні методи аналізу відповідно до ДСТУ EN 14082:2019 та ДСТУ EN 13806:2022 (State Standard of Ukraine, 2019; State Standard of Ukraine, 2022). Отримані значення порівнювали з гранично допустимими рівнями, встановленими чинними санітарно-гігієнічними нормативами (Ministry of Health of Ukraine, 2013).

Усі визначення проводили щонайменше з триразовою повторюваністю. Статистичну обробку експериментальних даних здійснювали із застосуванням методів варіаційної статистики. Результати подавали у вигляді середнього арифметичного значення та стандартного відхилення. Обробку даних виконували за допомогою стандартних програмних засобів.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Результати дослідження мінерального складу м’яса нутрії (*Myocastor coypus*) дали змогу оцінити його харчову та біологічну цінність як перспективної сировини для виробництва харчових продуктів підвищеної біологічної цінності. Проведені дослідження показали, що м’язова тканина нутрії характеризується наявністю комплексу макро- та мікроелементів, які відіграють важливу роль у забезпеченні фізіологічних потреб організму людини.

Результати визначення вмісту макро- та мікроелементів у м’ясі нутрії наведено в таблиці 1. Для зручності оцінки харчової цінності показники подано у перерахунку на 100 г м’яса.

Таблиця 1. Мінеральний склад м’яса нутрії

Показник	**Вміст, мг/100 г**	**Адекватний рівень споживання, мг; 10 % добової потреби (Ministry of Health of Ukraine, 2017)**	
Макроелементи		Жінки	Чоловіки
1	**2**	**3**	**4**
Калій	217,1 ± 21,7	-	-
Кальцій	36,26 ± 3,63	110	120
Магній	21,06 ± 2,11	50	40
Мікроелементи		Жінки	Чоловіки

Продовження табл. 1

1	2	3	4
Мідь	0,0516 ± 0,005	0,1	0,1
Залізо	0,736 ± 0,074	1,7	1,5
Цинк	1,229 ± 0,12	1,2	1,5
Нікель	0,0041 ± 0,0004	-	
Марганець	0,016 ± 0,0016	0,2	
Алюміній	1,004 ± 0,10	-	
Хром	0,0024 ± 0,00024	0,005	
Молібден	0,0034 ± 0,00034	0,07	
Кобальт	<0,0005	-	

Джерело: розроблено автором на основі експериментальних досліджень

Аналіз результатів, наведених у таблиці 1, свідчить, що мінеральний склад м'яса нутрії характеризується наявністю широкого спектра макро- та мікроелементів, які мають важливе фізіологічне значення для організму людини. Серед макроелементів найбільша концентрація встановлена для калію, вміст якого становить 217,1 мг/100 г. Калій є одним із основних внутрішньоклітинних катіонів і бере участь у підтриманні водно-електролітного балансу, регуляції нервово-м'язової діяльності та функціонуванні серцево-судинної системи. Значна концентрація цього елемента у м'ясі нутрії свідчить про його потенційну роль у формуванні раціонів харчування, спрямованих на підтримання нормального метаболічного балансу організму.

Вміст кальцію у досліджуваних зразках становив 36,26 мг/100 г, тоді як концентрація магнію досягала 21,06 мг/100 г. Магній є важливим кофактором численних ферментативних реакцій та бере участь у процесах енергетичного обміну, а також у регуляції нервово-м'язової провідності. Кальцій, у свою чергу, відіграє ключову роль у формуванні кісткової тканини, регуляції внутрішньоклітинних сигнальних процесів і забезпеченні нормального функціонування м'язових і нервових структур. Порівняння фактичного вмісту цих елементів із 10 % адекватного рівня добового споживання свідчить про помірний внесок м'яса нутрії у забезпечення фізіологічних потреб організму в макроелементах.

Відомо, що макроелементи відіграють важливу роль у підтриманні гомеостазу організму людини. Калій, магній і кальцій беруть участь у регуляції кислотно-лужного балансу, функціонуванні нервової системи, скороченні м'язів і роботі серцево-судинної системи. Наявність цих елементів у складі м'яса нутрії свідчить про його потенційну цінність як компонента раціонального харчування, особливо у контексті формування збалансованих харчових раціонів.

Серед мікроелементів у складі м'яса нутрії найбільші концентрації встановлено для цинку та заліза - відповідно 1,229 мг/100 г і 0,736 мг/100 г. Наявність цих елементів має важливе значення для організму людини, оскільки залізо бере участь у процесах кровотворення та транспорту кисню, тоді як цинк забезпечує підтримання імунної функції, синтез білків і антиоксидантний захист організму.

Важливою особливістю м'ясної сировини є висока біодоступність мікроелементів, зокрема заліза та цинку, які засвоюються організмом людини значно ефективніше порівняно з рослинними джерелами. Це зумовлено наявністю гемового заліза та специфічних білкових комплексів, що сприяють його кращому всмоктуванню у травному тракті. У зв'язку з цим м'ясо традиційно розглядається як одне із основних джерел цих елементів у раціоні людини.

Вміст міді та марганцю становив відповідно 0,0516 мг/100 г та 0,016 мг/100 г, що відповідає їх природному рівню накопичення у м'язовій тканині. Незважаючи на відносно

невисокі концентрації, ці елементи виконують важливі функції у ферментативних системах організму та беруть участь у перебігу окисно-відновних процесів і регуляції клітинного метаболізму. Крім того, у досліджуваних зразках встановлено наявність незначних кількостей нікелю, хрому, молібдену та алюмінію, вміст яких перебував у межах значень, характерних для м'язової тканини різних видів м'ясної сировини.

Таким чином, аналіз елементного складу дозволяє констатувати, що м'ясо нутрії характеризується збалансованим мінеральним профілем і містить низку важливих макро- та мікроелементів у фізіологічно значущих концентраціях.

Для більш наочної оцінки харчової цінності м'яса нутрії було проведено розрахунок ступеня забезпечення 10 % адекватного рівня добового споживання основних мінеральних елементів при вживанні 100 г продукту. На основі отриманих результатів побудовано графічну залежність, що відображає ступінь забезпечення потреб організму в окремих мінеральних елементах (рис. 1).

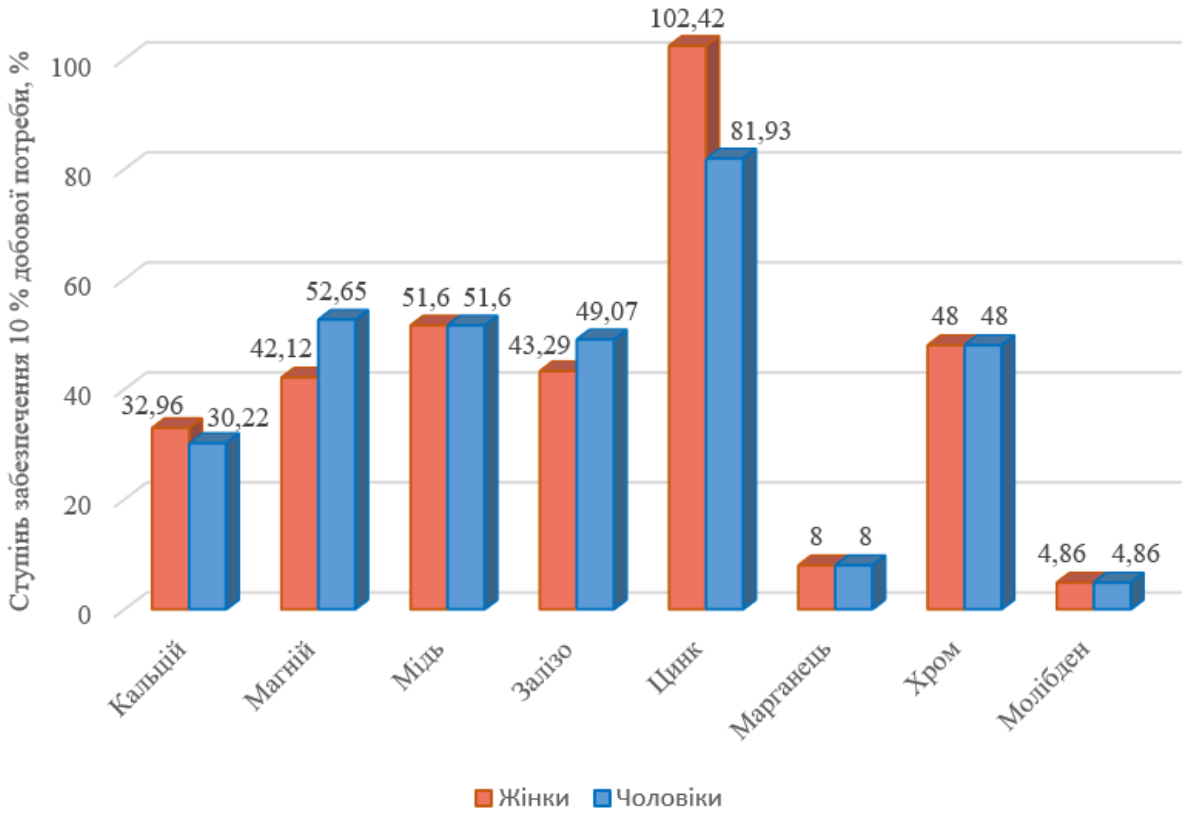

Рис. 1. Ступінь забезпечення 10 % адекватного рівня добового споживання основних мінеральних елементів при споживанні 100 г м'яса нутрії

Джерело: розроблено автором

Аналіз отриманих результатів (рис. 1) показав, що внесок 100 г м'яса нутрії у забезпечення добової потреби організму людини в макро- та мікроелементах є неоднаковим. Серед макроелементів найвища частка рекомендованої добової норми встановлена для магнію: близько 42 % для жінок і понад 52 % для чоловіків. Це свідчить про високу харчову цінність м'яса нутрії як джерела магнію та підтверджує перспективність його використання у виробництві м'ясних продуктів підвищеної біологічної цінності.

Помірний внесок у покриття фізіологічних потреб спостерігається також для кальцію, рівень забезпечення якого становить близько 30–33 % від 10 % адекватного рівня споживання.

Аналіз мікроелементного складу показує, що найбільший внесок у забезпечення добової потреби робить цинк. Для жінок цей показник перевищує 100 %, тоді як для чоловіків він становить близько 82 %. Суттєвий внесок у покриття потреб спостерігається також для заліза.

Порівняння отриманих результатів із даними літератури свідчить, що мінеральний склад м'яса нутрії загалом є зіставним із традиційними видами м'ясної сировини. За даними Williams (2007) та Pighin et al. (2016), у м'язовій тканині яловичини та свинини, як і в м'ясі нутрії, серед макроелементів переважає калій, а серед мікроелементів важливе фізіологічне значення мають цинк і залізо. Водночас поєднання збалансованого мінерального складу з відносно низьким вмістом жиру, встановленим у м'ясі нутрії (Saadoun & Cabrera, 2019), підтверджує перспективність його використання як альтернативної м'ясної сировини для виробництва харчових продуктів підвищеної біологічної цінності.

Практичне значення отриманих результатів полягає в обґрунтуванні доцільності використання м'яса нутрії як сировини для розроблення нових м'ясних продуктів, насамперед січених м'ясних напівфабрикатів підвищеної біологічної цінності. Встановлений збалансований мінеральний склад, достатній вміст біологічно важливих макро- і мікроелементів, а також відповідність показників безпечності чинним гігієнічним нормативам створюють наукове підґрунтя для використання цього виду м'яса у технологіях функціональних харчових виробів, призначених для розширення асортименту продукції оздоровчого спрямування.

Оцінка безпечності м'ясної сировини є важливою складовою комплексної характеристики її харчової та біологічної цінності. М'язова тканина тварин здатна акумулювати певні кількості токсичних елементів і радіонуклідів із навколишнього середовища, тому визначення їхнього вмісту є необхідним для підтвердження безпечності харчової продукції. Результати визначення вмісту токсичних елементів і радіонуклідів у м'ясі нутрії наведено в таблиці 2.

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

Показник	**Гранично допустимі рівні, мг/кг, не більше (Ministry of Health of Ukraine, 2013; Ministry of Health of Ukraine, 2006)**	**Вміст токсичних елементів у м'ясі нутрії**
Токсичні елементи		
Свинець	0,5	0,0128 ± 0,0013
Кадмій	0,05	<0,002
Ртуть	0,03	<0,005
Цинк	40	1,229 ± 0,12
Арсен	0,1	<0,005
Радіонукліди		
Стронцій-90	35	-
Цезій-137	150	-

Джерело: розроблено автором

Аналіз результатів, наведених у таблиці 2, засвідчив, що вміст досліджуваних токсичних елементів у м'ясі нутрії не перевищує максимально допустимих рівнів, установлених чинними нормативними документами України (Ministry of Health of Ukraine, 2013). Отримані дані свідчать про відповідність досліджуваної сировини чинним вимогам безпечності та можливість її використання для виробництва харчових продуктів.

Концентрація свинцю у досліджуваних зразках становила 0,0128 мг/кг, що майже у 40 разів нижче за гранично допустимий рівень (0,5 мг/кг). Вміст кадмію, ртуті та арсену

перебував на рівні слідових кількостей, що свідчить про відсутність накопичення цих токсичних елементів у досліджуваній сировині.

Вміст цинку становив 1,229 мг/кг, що суттєво нижче максимально допустимого рівня (40 мг/кг) та відповідає вимогам безпечності харчових продуктів. Це підтверджує відсутність надлишку накопичення цього елемента в м'ясі нутрії.

Оцінка радіаційної безпечності досліджуваної сировини показала, що вміст радіонуклідів у м’ясі нутрії не перевищує встановлених гранично допустимих рівнів (Ministry of Health of Ukraine, 2006). У досліджуваних зразках стронцій-90 та цезій-137 не виявлено, що свідчить про відсутність радіаційного забруднення та підтверджує безпечність досліджуваної сировини.

Результати дослідження Pighin et al. (2016) також свідчать, що м’ясна сировина містить широкий спектр мінеральних компонентів, необхідних для підтримання нормального функціонування організму людини. При цьому концентрація окремих елементів може варіювати залежно від виду тварини, умов її утримання та особливостей годівлі.

Отримані у нашому дослідженні результати загалом узгоджуються з даними літератури. Так, встановлено, що у м’ясі нутрії серед макроелементів переважає калій, вміст якого становить 217,1 мг/100 г, що відповідає закономірностям, характерним для м’язової тканини більшості видів м’ясної сировини. Подібні тенденції формування мінерального складу м’яса відзначаються і в інших дослідженнях.

Аналіз мікроелементного складу показує, що у м’ясі нутрії важливе місце займають залізо та цинк, концентрація яких становить відповідно 0,736 мг/100 г та 1,229 мг/100 г. За даними Pighin et al. (2016), у яловичині вміст заліза може становити у середньому 1,8–2,6 мг/100 г, тоді як у свинині - близько 0,8–1,2 мг/100 г. Отже, вміст заліза в м’ясі нутрії перебуває в межах значень, характерних для деяких традиційних видів м’ясної сировини.

Водночас мінеральний склад м’яса може змінюватися залежно від біологічних особливостей тварин і умов їхнього годівлення. Так, у дослідженні Pirova et al. (2017) встановлено, що м’язова тканина свиней містить широкий спектр макро- та мікроелементів, зокрема кальцій, фосфор, залізо та цинк, що визначає високу харчову цінність м’ясної продукції. Подібні закономірності формування мінерального складу характерні і для інших видів м’яса.

Порівняльні дослідження мінерального складу м’яса різних видів тварин свідчать про відмінності у накопиченні окремих мінеральних елементів залежно від виду тварин та умов їх існування. Так, Kutcyniak (2012) встановив, що м’ясо благородного оленя характеризується вищим умістом окремих мінеральних елементів порівняно з яловичиною, що пов’язано з особливостями природного живлення диких тварин. Це підтверджує, що видові особливості та умови вирощування можуть істотно впливати на формування мінерального складу м’ясної сировини.

Зростання інтересу до використання нетрадиційних видів м’ясної сировини відзначається й у сучасних наукових дослідженнях. За даними Avramenko (2017), м’ясо диких тварин характеризується сприятливим хімічним складом, зокрема високим вмістом білка, комплексом макро- та мікроелементів і відносно низьким вмістом жиру. У цьому контексті м’ясо нутрії також може розглядатися як перспективне джерело мінеральних речовин у харчуванні людини.

Водночас аналіз літературних джерел свідчить, що мінеральний склад і показники безпечності м’ясної сировини можуть істотно варіювати залежно від біологічних особливостей виду тварин, віку, умов утримання, раціону годівлі та екологічного стану середовища. Як зазначають Domínguez et al. (2019), склад м’язової тканини формується під впливом комплексу біологічних і технологічних факторів, що визначають рівень накопичення окремих мінеральних компонентів. Крім того, вміст токсичних елементів у м’ясі значною мірою залежить від рівня техногенного навантаження, якості кормів і води, а також екологічного стану територій, на яких вирощують тварин. Отримані у нашому дослідженні

низькі концентрації токсичних елементів та відсутність виявлених радіонуклідів свідчать про сприятливі умови вирощування нутрій і належну якість використаної сировини.

Отримані результати можуть бути використані під час розроблення м'ясних продуктів підвищеної біологічної цінності. Збалансований мінеральний склад, відсутність перевищення нормативів щодо токсичних елементів і радіонуклідів, а також сприятливі поживні властивості свідчать про перспективність застосування цього виду м’яса під час виробництва січених напівфабрикатів, ковбасних виробів, паштетів та інших функціональних харчових продуктів.

Таким чином, результати дослідження підтверджують, що м’ясо нутрії характеризується збалансованим мінеральним складом, відповідає вимогам безпечності та може бути рекомендоване як перспективна сировина для виробництва м’ясних продуктів підвищеної біологічної цінності. Подальші дослідження доцільно спрямувати на вивчення впливу технологічної обробки та умов вирощування тварин на формування мінерального складу та показників безпечності м’яса нутрії.

ВИСНОВКИ. За результатами проведених досліджень встановлено, що м’ясо нутрії (*Myocastor coypus*) характеризується збалансованим мінеральним складом із домінуванням калію, вміст якого становить 217,1 мг/100 г, а також наявністю кальцію (36,26 мг/100 г) і магнію (21,06 мг/100 г), що свідчить про його значущість як джерела біологічно важливих макроелементів.

Аналіз мікроелементного складу показав, що вміст цинку досягає 1,229 мг/100 г, заліза - 0,736 мг/100 г, міді - 0,0516 мг/100 г та марганцю - 0,016 мг/100 г, що свідчить про наявність у м’язовій тканині комплексу мікроелементів, необхідних для процесів кровотворення, антиоксидантного захисту, ферментативної активності та підтримання метаболічних процесів організму людини.

Оцінка ступеня забезпечення 10 % адекватного рівня добової потреби показала, що споживання 100 г м’яса нутрії забезпечує суттєву частку цього рівня для магнію, цинку, заліза та міді, що підтверджує вагомий внесок досліджуваної м’ясної сировини у формування мінерального раціону дорослого населення.

Результати контролю показників безпечності свідчать, що вміст токсичних елементів, зокрема свинцю (0,0128 мг/кг), кадмію (<0,002 мг/кг), ртуті (<0,005 мг/кг) та арсену (<0,005 мг/кг), у м’ясі нутрії не перевищує гранично допустимих рівнів, установлених чинними нормативними документами. Водночас радіонукліди стронцію-90 та цезію-137 у досліджуваних зразках не виявлено, що підтверджує радіаційну безпечність досліджуваної сировини.

Узагальнення отриманих експериментальних даних дає підстави розглядати м’ясо нутрії як безпечну та перспективну альтернативну м’ясну сировину для виробництва м’ясних продуктів підвищеної біологічної цінності та продуктів здорового харчування, що характеризується збалансованим умістом макро- та мікроелементів і відповідає чинним гігієнічним нормативам. Отримані результати можуть слугувати науковим підґрунтям для розроблення технологій січених м’ясних напівфабрикатів на основі м’яса нутрії з підвищеною харчовою цінністю. Подальші дослідження доцільно спрямувати на вивчення впливу технологічної обробки на збереження мінерального складу та показників безпечності м’яса нутрії під час виробництва січених м’ясних напівфабрикатів.

Подяки. Немає.
Конфлікт інтересів. Немає.

References

Avramenko, N. O. (2017). Meat of wild animals: Features and composition. *Scientific Progress & Innovations, 3*(2), 108–109. https://doi.org/10.31210/visnyk2017.03.24

Biesalski, H. K. (2005). Meat as a component of a healthy diet - Are there any risks or benefits if meat is avoided in the diet? *Meat Science, 70*(3), 509–524. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2004.07.017

Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2019). A comprehensive review of lipid oxidation in meat and meat products. *Antioxidants, 8*(10), 429. https://doi.org/10.3390/antiox8100429

Hascik, P., & Pavelková, A. (2023). Meat performance, chemical composition, and sensory evaluation of Myocastor coypus meat. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences, 13*(3), e10628. https://doi.org/10.55251/jmbfs.10628

Hoffman, L. C., & Wiklund, E. (2006). Game and venison - Meat for the modern consumer. *Meat Science, 74*(1), 197–208. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2006.04.005

Juárez, M., Lam, S., Bohrer, B. M., Dugan, M. E. R., Vahmani, P., Aalhus, J. L., Juárez, A., López-Campos, Ó., Prieto, N., & Segura, J. (2021). Enhancing the nutritional value of red meat through genetic and feeding strategies. *Foods, 10*(4), 872. https://doi.org/10.3390/foods10040872

Kutcyniak, I. (2012). Mineral composition of the meat of deer and cattle. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies, 14*(2), Part 3.

Leroy, F., & Cofnas, N. (2019). Should dietary guidelines recommend low red meat intake? *Critical Reviews in Food Science and Nutrition, 60*(16), 2763–2772. https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1657063

Ministry of Health of Ukraine. (2013, May 13). Order No. 368 "On approval of state hygienic standards for chemical substances in food products". https://zakon.rada.gov.ua

Ministry of Health of Ukraine. State Hygienic Standards "Permissible Levels of Radionuclides ^{137}Cs and ^{90}Sr in Food Products and Drinking Water (DR-2006)". Approved by Order of the Ministry of Health of Ukraine No. 256 dated May 3, 2006. Kyiv, 2006.

Ministry of Health of Ukraine. (2017). Norms of physiological requirements of the population of Ukraine in basic nutrients and energy. Kyiv.

Neff, R. A., Edwards, D., Palmer, A., Ramsing, R., Righter, A., & Wolfson, J. (2018). Reducing meat consumption in the USA: A nationally representative survey of attitudes and behaviors. *Public Health Nutrition, 21*(10), 1835-1844. https://doi.org/10.1017/S1368980017004190

Pateiro, M., Domínguez-Valencia, R., & Lorenzo, J. M. (2021). Recent research advances in meat products. *Foods, 10*(6), 1303. https://doi.org/10.3390/foods10061303

Pighin, D., Pazos, A., Chamorro, V., Paschetta, F., Cunzolo, S., Godoy, F., Messina, V., Pordomingo, A., & Grigioni, G. (2016). A contribution of beef to human health: A review of the role of the animal production systems. *The Scientific World Journal*, 2016, 8681491. https://doi.org/10.1155/2016/8681491

Pirova, L. V., Kosior, L. T., Mashkin, Y. O., & Lastovska, I. O. (2017). Chemical, mineral, and amino acid composition of pork with selenium-containing additives in the diet. *Ukrainian Journal of Ecology, 7*(2), 225–228.

Saadoun, A., & Cabrera, M. C. (2019). A review of productive parameters, nutritive value, and technological characteristics of farmed nutria meat (*Myocastor coypus*). *Meat Science*, 148, 137–149. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2018.10.006

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 vapor 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.

Tůmová, E., Chodová, D., Volek, Z., & Ketta, M. (2021). The effect of feed restriction, sex and age on the carcass composition and meat quality of nutria (*Myocastor coypus*). *Meat Science*, 172, 108317. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108317

Wu, G., Bazer, F. W., Cross, H. R., & Landivar, J. A. (2014). Role of animal production in human nutrition and health. *Advances in Nutrition, 5*(6), 816-820. https://doi.org/10.3945/an.114.007732

Williams, P. (2007). Nutritional composition of red meat. *Nutrition & Dietetics, 64*(Suppl. 4), S113-S119. https://doi.org/10.1111/j.1747-0080.2007.00197.x

УДК 619:612.015
https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2026.51

КОМПЛЕКСНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ТВЕРДОГО СИРУ З НАСІННЯМ ЛЬОНУ МЕТОДОМ ФАКТОРНИХ ПЛОЩ

Лариса Вацлавівна Баль-Прилипко
доктор технічних наук, професор
https://orcid.org/0000-0002-9489-8610
Ігор Миколайович Устименко
кандидат технічних наук, доцент,
https://orcid.org/0000-0003-0171-5780
Давид Арамович Арутюнян
аспірант,
https://orcid.org/0009-0005-9272-0703
Михайло Михайлович Муштрук
Кандидат технічних наук, доцент
https://orcid.org/0000-0002-3646-1226
Марія Михайлівна Жеплінська
кандидат технічних наук, доцент,
https://orcid.org/0000-0002-7286-3003
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, Україна.

Анотація. Актуальність дослідження зумовлена необхідністю коригування жирнокислотного складу традиційних харчових продуктів та розроблення методичних підходів, здатних забезпечити комплексне оцінювання змін їх якісного стану. Перспективним способом модифікації ліпідної складової твердих сирів є використання насіння льону як джерела поліненасичених жирних кислот. Метою дослідження було комплексне оцінювання якості твердого сичужного сиру з насінням льону методом факторних площ та визначення найбільш перспективної рецептури за сукупністю досліджених показників. Досліджували контрольний зразок і три дослідні зразки з масовою часткою насіння льону 1,5; 3,0 та 5,0 %. Визначали динаміку розвитку молочнокислих мікроорганізмів, вміст насичених і поліненасичених жирних кислот. Для інтегрального оцінювання експериментальні показники нормували відносно контрольного зразка та формували відповідні факторні простори. Встановлено, що збільшення вмісту насіння льону до 5,0 % супроводжувалося зростанням максимальної кількості молочнокислих мікроорганізмів із 17,0 до 22,9 колонієутворювальних одиниць на грам та швидкості їх розвитку з 0,0708 до 0,0954 колонієутворювальних одиниць на грам за годину. Водночас частка насичених жирних кислот зменшилася з 68,6 до 62,3 %, а поліненасичених – збільшилася з 31,4 до 37,7 %. Для зразка з 5,0 % насіння льону нормовані показники максимальної кількості та швидкості розвитку молочнокислих мікроорганізмів перевищували контрольні значення відповідно на 35,0 та 34,8 %, а вмісту поліненасичених жирних кислот – на 20,0 %. Факторна площа контрольного зразка становила 2,378 ум. од.^{2}, тоді як для зразків із 1,5; 3,0 та 5,0 % насіння льону – відповідно 2,68; 3,10 та 3,15 ум. од.^{2}. Найвищу інтегральну оцінку встановлено для зразка з 5,0 % насіння льону, факторний простір якого становив 132 % від контрольного. Практична цінність одержаних результатів полягає в обґрунтуванні рецептури з 5,0 % насіння льону як найбільш перспективної серед досліджених варіантів та підтвердженні можливості застосування методу факторних площ для кількісного порівняння багатокомпонентних харчових систем за сукупністю різнорідних показників.

Ключові слова: жирнокислотний профіль; поліненасичені жирні кислоти; молочнокислі мікроорганізми; факторний простір; інтегральний критерій; нормування показників.

 Creative Commons Attribution 4.0 International Public License

UDC 619:612.015
https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2026.51

COMPREHENSIVE QUALITY ASSESSMENT OF HARD CHEESE WITH FLAX SEEDS USING THE FACTOR AREA METHOD

Larysa Bal-Prylypko
Doctor of Technical Sciences
https://orcid.org/0000-0002-9489-8610
Ihor Ustymenko
Ph.D. (Engineering), Associate Professor
https://orcid.org/0000-0003-0171-5780
David Arutiunian
postgraduate student
https://orcid.org/0009-0005-9272-0703
Mikhailo Mushtruk
PhD in Technical Sciences, Associate Professor
https://orcid.org/0000-0002-3646-1226
Marija Zheplinska
PhD in Technical Sciences, Associate Professor National,
https://orcid.org/ 0000-0002-7286-3003
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
03041, 15 Heroes of Defense St., Kyiv, Ukraine.

Abstract. The relevance of this study is determined by the need to improve the fatty acid composition of traditional food products and to develop methodological approaches that enable a comprehensive assessment of changes in their quality characteristics. The use of flaxseed as a source of polyunsaturated fatty acids represents a promising approach to modifying the lipid composition of hard cheeses. The study aimed to comprehensively assess the quality of hard rennet cheese containing flaxseed using the factor area method and to identify the most promising formulation based on the overall set of investigated parameters. A control sample and three experimental samples containing 1.5, 3.0, and 5.0% flaxseed were investigated. The dynamics of lactic acid microorganism growth and the contents of saturated and polyunsaturated fatty acids were determined. For integral assessment, the experimental parameters were normalized relative to the control sample and used to construct the corresponding factor spaces. Increasing the flaxseed content to 5.0% resulted in an increase in the maximum count of lactic acid microorganisms from 17.0 to 22.9 colony-forming units per gram and in their growth rate from 0.0708 to 0.0954 colony-forming units per gram per hour. At the same time, the proportion of saturated fatty acids decreased from 68.6 to 62.3%, whereas that of polyunsaturated fatty acids increased from 31.4 to 37.7%. For the sample containing 5.0% flaxseed, the normalized values of the maximum count and growth rate of lactic acid microorganisms exceeded the respective control values by 35.0 and 34.8%. In comparison, the polyunsaturated fatty acid content was 20.0% higher. The factor area of the control sample was 2.378 arbitrary units^2, whereas the corresponding values for the samples containing 1.5, 3.0, and 5.0% flaxseed were 2.68, 3.10, and 3.15 arbitrary units^2, respectively. The highest integral assessment was obtained for the sample containing 5.0% flaxseed, with its factor space reaching 132% of the control value. The practical significance of the results lies in substantiating the formulation containing 5.0% flaxseed as the most promising among the investigated variants and in demonstrating the applicability of the factor area method for quantitatively comparing multicomponent food systems based on a set of heterogeneous quality parameters.

Keywords: fatty acid profile; polyunsaturated fatty acids; lactic acid microorganisms; factor space; integral criterion; parameter normalization.

ВСТУП. Сучасні тенденції розвитку харчової науки передбачають розгляд продуктів харчування не лише як джерела енергії та основних поживних речовин, а й як важливого чинника забезпечення організму біологічно активними та есенціальними компонентами. Раціональне надходження таких речовин може сприяти підтриманню фізіологічних функцій організму, профілактиці аліментарно залежних захворювань та підвищенню якості життя людини (Lialyk *et al*., 2020; Horiuk & Uglyar, 2021; Karpyk *et al*., 2021).

Поглиблення наукових уявлень про взаємозв'язок між харчуванням і станом здоров'я стало передумовою активного розвитку концепції функціональних харчових продуктів. До цієї категорії відносять продукти, склад і властивості яких спрямовані не лише на задоволення основних харчових потреб, а й на забезпечення додаткового позитивного фізіологічного ефекту за умов їх систематичного споживання (Essa *et al*., 2023).

Одним із перспективних напрямів створення функціональних продуктів є коригування їхнього нутрієнтного складу шляхом збагачення вітамінами, мінеральними речовинами, поліненасиченими жирними кислотами (ПНЖК) та іншими біологічно цінними компонентами. Такий підхід дає змогу підвищувати харчову та біологічну цінність традиційних продуктів і розширювати їхні функціональні властивості (Kukhtyn *et al*., 2021). Регулярне включення таких продуктів до раціону може сприяти оптимізації харчового статусу та підтриманню нормального функціонування органів і систем організму людини (Dalevska *et al*., 2021; Kukhtyn *et al*., 2022).

Особливе значення серед компонентів ліпідної складової харчових продуктів мають поліненасичені жирні кислоти (Ustymenko *et al*., 2023). Незамінні жирні кислоти, зокрема лінолева (ω-6) та α-ліноленова (ω-3), не синтезуються організмом людини та повинні надходити з їжею (Mititelu *et al*., 2025). Водночас важливим є не лише загальний вміст жиру в раціоні, а й його жирнокислотний склад та співвідношення окремих груп жирних кислот.

З огляду на це, одним із актуальних напрямів удосконалення складу харчових продуктів є часткова заміна насичених жирних кислот ненасиченими, зокрема поліненасиченими. Такий підхід узгоджується із сучасними рекомендаціями щодо оптимізації якісного складу харчових жирів та дає змогу підвищувати біологічну цінність жирової складової продукту (Ustymenko *et al*., 2023). Актуальність цього напряму також пов'язана з недостатнім надходженням окремих ПНЖК із традиційними раціонами харчування (Egalini *et al*., 2026).

У зв'язку з цим перспективним є створення та удосконалення традиційних харчових продуктів із модифікованим жирнокислотним складом, споживання яких може бути додатковим джерелом ПНЖК у раціоні людини (Calder *et al*., 2026). Особливий інтерес у цьому контексті становлять продукти, жировий компонент яких характеризується значною часткою насичених жирних кислот.

До таких продуктів належать тверді сири, які користуються стабільним попитом, характеризуються високою харчовою цінністю та є джерелом повноцінного білка, молочного жиру, мінеральних речовин і інших нутрієнтів. Водночас жирова фаза традиційних сирів містить значну частку насичених жирних кислот і порівняно невисоку частку ПНЖК (Paszczyk, 2022). Це створює передумови для цілеспрямованого коригування жирнокислотного складу сирів шляхом удосконалення їхніх рецептур.

Перспективним способом такого коригування є введення до рецептури компонентів, багатих на ненасичені та поліненасичені жирні кислоти. Модифікація жирової складової дає змогу змінювати співвідношення насичених і ненасичених жирних кислот та покращувати окремі показники харчової цінності продукту. Водночас зміна складу жирової фази може впливати на фізико-хімічні, структурно-механічні та органолептичні характеристики сирів. Тому обґрунтування рецептури не може ґрунтуватися виключно на визначенні вмісту ПНЖК, а потребує комплексного врахування показників якості готового продукту.

У сучасних дослідженнях сирів із модифікованою жировою складовою поряд із визначенням загального вмісту насичених, мононенасичених і поліненасичених жирних кислот застосовують їх співвідношення та інтегральні індекси ліпідної якості. Такий підхід дає

змогу більш повно характеризувати харчову цінність жирової фази продукту. Водночас збільшення кількості досліджуваних характеристик ускладнює однозначний вибір оптимального зразка лише шляхом послідовного порівняння окремих показників.

Традиційні методи оцінювання якості переважно передбачають аналіз окремих характеристик продукту, що не завжди забезпечує можливість об'єктивного інтегрального порівняння дослідних зразків між собою та з визначеним еталоном (Li *et al*., 2022; Kowalska *et al*., 2023). Особливої актуальності ця проблема набуває під час розроблення багатокомпонентних рецептур, коли покращення одного показника може супроводжуватися зміною інших характеристик готового продукту.

Тому для обґрунтування рецептурного складу перспективним є застосування математичних методів комплексного оцінювання якості. Використання факторних просторів і геометричних моделей дає змогу привести різнорозмірні показники до порівнянного вигляду, одночасно врахувати сукупність критеріїв якості, визначити ступінь наближення дослідних зразків до заданих або еталонних значень та обґрунтовано встановити найбільш перспективний варіант рецептури (Chen & Pan, 2023).

Одним із таких підходів є метод факторних площ, який передбачає формування геометричної моделі на основі нормованих значень обраних показників. Площа сформованої багатокутної моделі може використовуватися як інтегральний критерій для порівняння дослідних зразків. Це дає змогу узагальнювати результати багатопараметричних досліджень і кількісно характеризувати якісний стан досліджуваного харчового продукту (Erdogdu, 2023).

Незважаючи на наявність значної кількості досліджень жирнокислотного складу сирів, більшість із них зосереджена на визначенні та порівнянні окремих груп жирних кислот або окремих фізико-хімічних характеристик продукту. Питання одночасного врахування жирнокислотного складу та комплексу фізико-хімічних показників твердих сирів у межах єдиної математичної моделі для інтегрального оцінювання якості та обґрунтування найбільш збалансованої рецептури залишається недостатньо дослідженим. Саме поєднання коригування жирнокислотного складу з математичним комплексним оцінюванням якості дає змогу більш обґрунтовано визначати перспективність розроблених рецептур.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ – комплексне оцінювання якості твердих сирів із модифікованим жирнокислотним складом методом факторних площ з урахуванням вмісту поліненасичених жирних кислот і фізико-хімічних показників, а також визначення найбільш збалансованої рецептури.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. За результатами досліджень встановлено, що жирнокислотний склад харчових продуктів є важливим чинником, який визначає їхню харчову та біологічну цінність і може впливати на функціональний стан організму людини (Poli *et al*., 2023). Зокрема, достатнє надходження поліненасичених жирних кислот (ПНЖК) пов'язують зі зниженням ризику розвитку низки захворювань, насамперед серцево-судинних (Omachi *et al*., 2024). У зв'язку з цим, розроблення та розширення асортименту харчових продуктів із підвищеним вмістом ПНЖК є перспективним напрямом сучасної харчової промисловості (Mititelu *et al*., 2025).

Одним із перспективних об'єктів для коригування жирнокислотного складу є тверді сири, які посідають вагоме місце в раціоні населення та характеризуються високою харчовою цінністю (Paszczyk, 2022). Жирова складова твердих сирів представлена широким спектром жирних кислот, кількісне співвідношення яких залежить від складу молочної сировини, технології виробництва та умов дозрівання продукту (Bittante *et al*., 2024). При цьому молочний жир характеризується високим ступенем засвоюваності, який, за даними літератури, становить 88–94 % (Hueso *et al*., 2025).

Водночас у жирнокислотному складі традиційних твердих сирів переважають насичені жирні кислоти, тоді як частка ПНЖК є порівняно невисокою (Semeniuc *et al*., 2022). З огляду

на це, актуальним напрямом удосконалення їх складу є підвищення вмісту ПНЖК шляхом використання сировини рослинного походження. Застосування рослинних олій, насіння та інших компонентів із високим вмістом ненасичених жирних кислот дає змогу цілеспрямовано модифікувати жирову складову та одержувати молочно-рослинні продукти з підвищеною біологічною цінністю (El-Metwally *et al*., 2023; Klir Šalavardić *et al*., 2023; Arango *et al*., 2026).

Однак модифікація рецептурного складу твердих сирів потребує комплексного оцінювання якості готового продукту. Традиційні підходи передбачають визначення окремих характеристик, зокрема жирнокислотного та амінокислотного складу, а також фізико-хімічних, органолептичних і структурно-механічних показників. Аналіз кожного з них окремо дає змогу охарактеризувати певні властивості продукту, проте ускладнює формування узагальненої оцінки якості та об'єктивне порівняння кількох дослідних рецептур (Hoffer, 2016).

Для усунення зазначеного обмеження доцільним є застосування математичних методів комплексного оцінювання, які забезпечують інтегрування сукупності різнорідних характеристик у єдину систему. Одним із таких підходів є багатофакторний аналіз, що ґрунтується на формуванні факторного простору з показників, які визначають якісний стан досліджуваного продукту. До факторного простору можуть бути включені показники жирнокислотного складу, харчової та біологічної цінності, а також фізико-хімічні, органолептичні, структурно-механічні та технологічні характеристики.

Оскільки зазначені показники мають різну фізичну природу, одиниці вимірювання та діапазони значень, для їх сумісного аналізу здійснюють нормування з переведенням у безрозмірну форму. Така процедура забезпечує їхню зіставність і дає змогу сформувати узагальнений критерій якості.

Одним із методів реалізації такого підходу є метод факторних площ, який ґрунтується на графічному представленні нормованих показників у полярній системі координат. Значення кожного показника відкладають уздовж відповідної факторної осі, а послідовне з'єднання отриманих точок утворює багатокутник. Його площа використовується як інтегральний критерій, що дає змогу кількісно характеризувати сукупність досліджуваних властивостей продукту та порівнювати дослідні зразки між собою, із контрольним зразком або з встановленими еталонними значеннями.

Важливою перевагою методу факторних площ є поєднання диференційного та інтегрального підходів до оцінювання. Аналіз значень за окремими факторними осями дає змогу встановити внесок конкретних показників у формування якості продукту, тоді як площа багатокутника відображає їхню сукупну характеристику. Це забезпечує можливість не лише ранжування дослідних зразків, а й виявлення показників, які найбільше визначають відмінності між рецептурами, що є важливим для подальшого коригування рецептурних і технологічних параметрів.

Аналіз наукових публікацій свідчить, що дослідження якості твердих сирів переважно зосереджені на визначенні окремих груп показників, зокрема жирнокислотного складу, фізико-хімічних характеристик та індексів ліпідної цінності. Водночас застосування інтегральних математичних підходів, які забезпечують одночасне врахування жирнокислотного складу та комплексу показників якості твердих сирів із модифікованою жировою складовою, висвітлено недостатньо.

Таким чином, застосування методу факторних площ є перспективним для комплексного оцінювання якості твердих сирів із модифікованим жирнокислотним складом. Його використання дає змогу інтегрувати різнорідні показники в єдину систему оцінювання, здійснити кількісне порівняння дослідних зразків і на цій основі обґрунтувати вибір найбільш збалансованої рецептури.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Об'єктами дослідження були контрольний та три дослідні зразки твердого сичужного сиру, виготовлені за розробленою рецептурою з додаванням насіння льону. Масова частка насіння льону в дослідних зразках становила: 1,5 % – зразок №

1; 3,0 % - зразок № 2; 5,0 % – зразок № 3. Контрольний зразок використовували як базовий для порівняння отриманих експериментальних показників.

Якісний стан контрольного та дослідних зразків оцінювали за комплексом із п'яти показників: максимальною кількістю молочнокислих мікроорганізмів (МКМ), що утворюються протягом 60 діб дозрівання; зміною кількості МКМ упродовж 60 діб дозрівання; швидкістю розвитку МКМ; загальним вмістом насичених жирних кислот; загальним вмістом поліненасичених жирних кислот.

Для забезпечення можливості комплексного математичного опрацювання показників, виражених у різних одиницях вимірювання, їх експериментальні значення переводили в безрозмірну форму. Нормування здійснювали шляхом визначення відношення відповідного показника дослідного зразка до його значення в контрольному зразку. Відповідно, безрозмірні значення всіх показників контрольного зразка приймалися такими, що дорівнюють 1,0 (Palamarchuk *et al*., 2025; Palamarchuk *et al*., 2026; Mushtruk *et al*., 2026).

Для комплексного оцінювання якісного стану дослідних зразків застосовували метод факторних площ. Математичну модель представляли у вигляді п'ятикутника, радіус-вектори якого відповідали нормованим значенням п'яти досліджуваних показників. Значення поточних параметрів якості відкладали від центру багатокутника вздовж відповідних радіус-векторів (Palamarchuk *et al*., 2025; Palamarchuk *et al*., 2026; Mushtruk *et al*., 2026).

Враховуючи представлені вище гіпотези для здійснення математичного моделювання методом «факторних площ», необхідно визначити величини площ, описані якісними характеристиками під час побудови геометричної моделі. При визначенні величини площі нормативних параметрів $S_н$, що описуються правильним багатокутником скористалися відомою формулою:

$$S_н = \frac{mR^2 \sin^2(\frac{180}{m})}{tg\left(\frac{180}{m}\right)} \quad (1)$$

де m – кількість кутів або сторін багатокутника; a – величина сторони багатокутника, яку можна знайти через напівдіагональ $R_н$ як:

$$a = 2R_н \sin(\frac{180}{m}) \quad (2)$$

Тоді шукана величина площі правильного багатокутника становить:

$$S_н = \frac{mR^2 \sin^2(\frac{180}{m})}{tg\left(\frac{180}{m}\right)} = mR^2 \sin(\frac{180}{m}) \cdot \cos(\frac{180}{m}) = 0{,}5mR^2 \sin(\frac{360}{m}) \quad (3)$$

Для досліджуваного факторного простору дослідних зразків, що представляється у вигляді 5-кутника, за формулою (3) шукана площа становить $S_н = 2{,}378$ *ум.од*.

Оскільки кількість оціночних параметрів становила m = 5, нормативний факторний простір контрольного зразка представляли у вигляді правильного п'ятикутника з одиничними значеннями радіус-векторів.

Візуалізацію математичної моделі представили у вигляді 5-кутника, напівдіагоналі якого становлять значення поточних параметрів якості досліджуваного зразка продукції, наведені у безрозмірних одиницях. Чисельно факторний простір даної продукції визначали площею побудованої фігури, для чого був виведений наступний математичний алгоритм (Palamarchuk *et al*., 2025; Palamarchuk *et al*., 2026; Mushtruk *et al*., 2026):

$$S_{05}=0{,}5\sin\alpha\cdot[R_1\cdot R_2+R_2\cdot R_3+R_3\cdot R_4+R_4\cdot R_5+R_5\cdot R_1] \quad (4)$$

де S_i – факторна площа поточних параметрів дослідного зразка, ум. од.^{2}; R_1–R_5 – нормовані значення відповідних показників якості; α – центральний кут між суміжними радіус-векторами.

Порівняльне оцінювання якісного стану контрольного та дослідних зразків твердого сичужного сиру з різним вмістом насіння льону здійснювали методом факторних площ.

Експериментально визначені показники нормували відносно відповідних значень контрольного зразка та подавали у вигляді безрозмірних величин. Комплексну оцінку проводили на основі алгебраїчних і геометричних співвідношень між факторними просторами контрольних і поточних параметрів якості (Palamarchuk *et al*., 2025; Palamarchuk *et al*., 2026; Mushtruk *et al*., 2026).

На основі величин обраних оціночних параметрів та розрахованих факторних площ якісного стану досліджуваних зразків рецептури консервованої продукції використовували розроблений *коефіцієнт відповідності інтервалу якості* $k_{вія} = S_i / S_н$ (Palamarchuk *et al*., 2025; Palamarchuk *et al*., 2026; Mushtruk *et al*., 2026), який показує, наскільки близько якість досліджуваного продукту відповідає нормативним показникам у певному факторному просторі.

Для оцінювання частки (у %) простору поточних якісних параметрів у просторі нормативних показників використовували розроблений *питомий коефіцієнт відповідності інтервалу якості* $\varphi_{вія} = \frac{|S_н - S_i|}{S_н} \cdot 100\%$ (Palamarchuk *et al*., 2025; Palamarchuk *et al*., 2026; Mushtruk *et al*., 2026).

На основі нормованих значень обраних оціночних параметрів і розрахованих факторних площ здійснювали інтегральне оцінювання якісного стану досліджуваних зразків. Для цього використовували коефіцієнт відповідності контрольному зразку $k_{вк}$, який характеризує співвідношення факторної площі дослідного та контрольного зразків і визначається за залежністю:

$$k_{вк} = S_i / S_к$$

де S_i – факторна площа поточних параметрів якості дослідного зразка, ум. од.^{2}; на площі контрольного зразка, ум. од.^{2}, S_k – факторна площа контрольного зразка, ум. од.^{2}.

Значення $k_{вк}$ характеризує ступінь відповідності комплексного якісного стану дослідного зразка контрольному за сукупністю обраних оціночних параметрів. При $k_{вк} = 1$ факторні площі дослідного та контрольного зразків є рівними, тоді як відхилення коефіцієнта від одиниці відображає зміну інтегральної оцінки якості дослідного зразка відносно контролю.

Отримані значення факторних площ та інтегральних коефіцієнтів використовували для порівняльного оцінювання якісного стану дослідних зразків твердого сичужного сиру залежно від масової частки насіння льону в рецептурі.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Результати експериментального визначення досліджуваних показників контрольних і дослідних зразків твердого сичужного сиру з різною масовою часткою насіння льону наведено в табл. 1.

Аналіз отриманих даних показав, що введення насіння льону до рецептури твердого сичужного сиру супроводжувалося зміною досліджуваних мікробіологічних показників і жирнокислотного складу готового продукту. Максимальна кількість МКМ у контрольному зразку становила 17 КУО/г, тоді як у зразках № 1, № 2 та № 3 вона становила відповідно 19,3; 22,8; 22,9 КУО/г.

Швидкість розвитку МКМ також зростала зі збільшенням масової частки насіння – льону. Для контрольного зразка її значення становило 0,0708 КУО/г за 1 год, для зразка № 1 – 0,0804, зразка № 2 – 0,0950, а зразка № 3 – 0,0954 КУО/г за 1 год.

Також встановлено зміну жирнокислотного складу досліджуваних зразків. Загальний вміст насичених жирних кислот зменшувався з 68,6 % у контрольному зразку до 67,5 % у зразку № 1, 64,2 % – у зразку № 2 та 62,3 % – у зразку № 3. Водночас вміст поліненасичених жирних кислот збільшувався відповідно до 31,4 %, 32,5 %, 35,8 % та 37,7 %. Таким чином, найбільший вміст поліненасичених жирних кислот встановлено у зразку № 3 із 5,0 % насіння льону.

Таблиця 1. Фізико-хімічні показники контрольного та дослідних зразків твердого сичужного сиру

№ п/п	Найменування оціночного показника	Контрольний зразок	Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3
1	Максимальна кількість МКМ, що утворюються протягом 60 діб дозрівання, КУО/г	17	19,3	22,8	22,9
2	Зміна кількості МКМ, що утворюються протягом 60 діб дозрівання, КУО/г	8,12	8,15	8,16	8,07
3	Швидкість розвитку МКМ, що утворюються протягом 60 діб дозрівання, КУО/г на 1 год	0,0708	0,0804	0,095	0,0954
4	Загальний вміст насичених жирних кислот, %	68,6	67,5	64,2	62,3
5	Загальний вміст поліненасичених жирних кислот, %	31,4	32,5	35,8	37,7

Джерело: розроблено автором на основі лабораторних досліджень.
Примітки: МКМ – молочнокислі мікроорганізми

Для забезпечення комплексного оцінювання експериментальні значення показників було нормовано відносно відповідних значень контрольного зразка. Розраховані безрозмірні коефіцієнти наведено в табл. 2.

Таблиця 2. Нормовані показники якості контрольного та дослідних зразків твердого сичужного сиру

№ п/п	Найменування оціночного показника	Контрольний зразок	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
1	Максимальна кількість МКМ, що утворюються протягом 60 діб дозрівання, *ум. од.*	1,0	1,135	1,34	1,35
2	Зміна кількості МКМ, що утворюються протягом 60 діб дозрівання, *ум. од.*	1,0	1,0036	1,0049	0,994
3	Швидкість розвитку МКМ, що утворюються протягом 60 діб дозрівання, *ум. од.*	1,0	1,136	1,342	1,348
4	Загальний вміст жирних кислот, *ум. од.*	1,0	0,984	0,936	0,908
5	Загальний вміст ненасичених жирних кислот, *ум. од.*	1,0	1,054	1,127	1,2

Джерело: розроблено автором на основі лабораторних досліджень.

Аналіз нормованих показників свідчить, що для зразка № 1 максимальна кількість МКМ перевищувала контрольне значення на 13,5 %, а швидкість їх розвитку – на 13,6 %. Для зразка № 2 відповідне перевищення становило 34,0 та 34,2 %, а нормований показник вмісту

поліненасичених жирних кислот був вищим за контрольний на 12,7 %. Для зразка № 3 максимальна кількість МКМ перевищувала контрольне значення на 35,0 %, швидкість їх розвитку – на 34,8 %, а показник вмісту поліненасичених жирних кислот – на 20,0 %.

Використовуючи розрахункові значення поточних параметрів R_i (табл.2), побудували геометричну модель якості досліджуваного зразка №1 сичужного сиру на основі однобічного оцінювання за позитивними оціночними характеристиками (рис.1). При побудові даної моделі оціночні параметри в безрозмірних одиницях відкладали від центру фігури багатокутника по напівдіагоналях, користуючись даними таблиці 2.

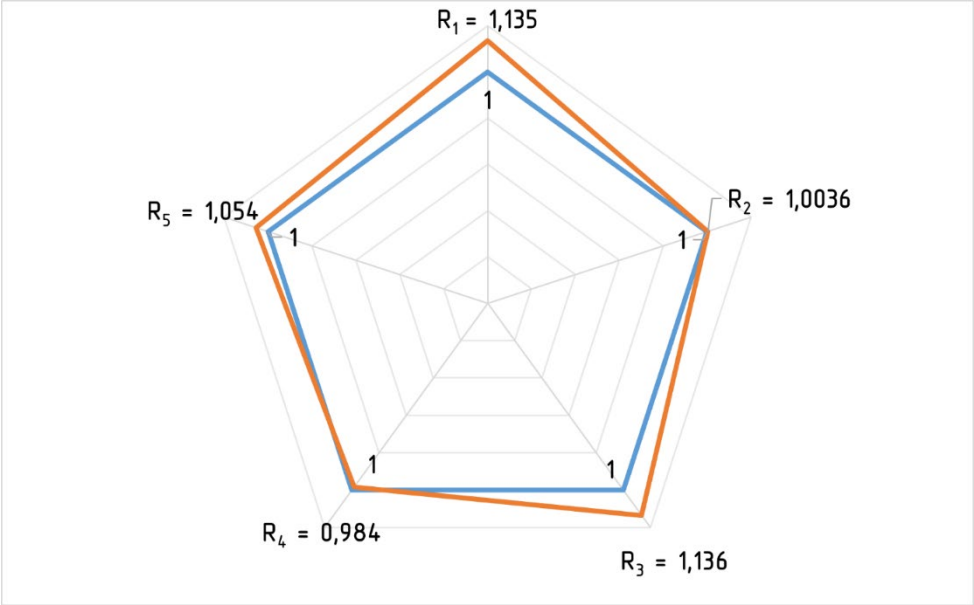

Рисунок. 1. Математична модель якості досліджуваного зразка № 1 сичужного сиру при використанні однобічної оцінки факторного простору

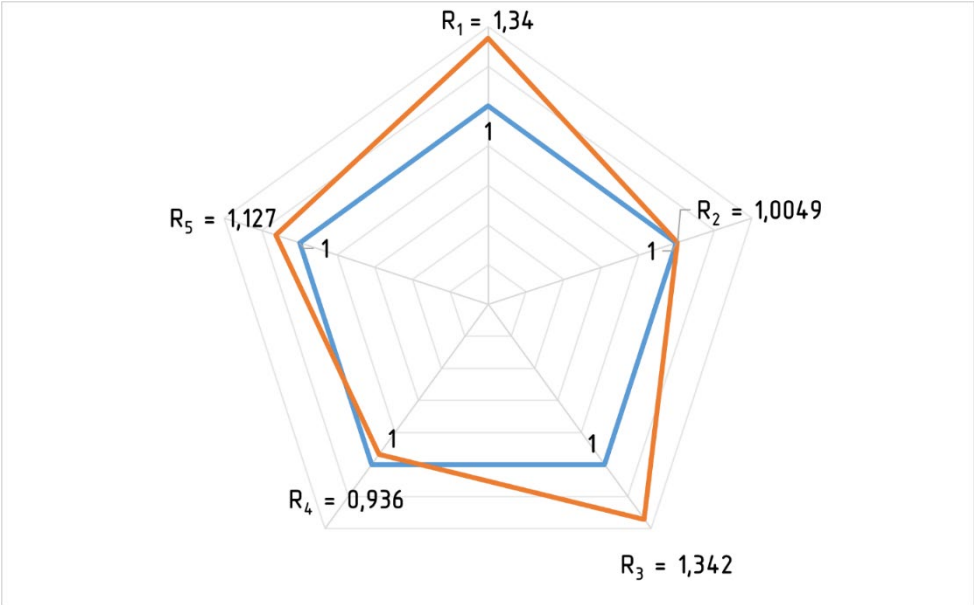

Рисунок. 2. Математична модель якості досліджуваного зразка № 2 сичужного сиру при використанні однобічної оцінки факторного простору

Аналіз отриманої моделі на рис. 1 свідчить, що зразок № 1 сичужного сиру за

розробленою рецептурою при використанні диференціальної оцінки перевищує контрольні значення за двома характеристиками, а саме, на 13,5 % за максимальна кількістю молочнокислих мікроорганізмів, що утворюються протягом 60 діб дозрівання та на 13,6 % - за швидкістю розвитку молочнокислих мікроорганізмів у період дозрівання (табл. 2). Решта параметрів якості знаходиться у межах контрольної межі. При використанні інтегральної оцінки факторний простір якісного стану складає 113 % від факторного простору контрольного зразка (табл.3). Враховуючи, що використані оціночні характеристики є позитивними, то така оцінка свідчить про більш високий якісний стан зразка № 1 сичужного сиру за розробленою рецептурою порівняно із контрольним зразком.

Використовуючи розрахункові значення поточних параметрів R_i, визначені за представленою вище методикою (табл. 2), побудували геометричну модель якості досліджуваного зразка №2 сичужного сиру на основі однобічного оцінювання (рис. 2).

Аналіз геометричних моделей на рис.2 свідчить, що зразок № 2 сичужного сиру за розробленою рецептурою при використанні диференціальної оцінки перевищує контрольні значення за чотирома характеристиками, зокрема, на 34 % за максимальна кількістю молочнокислих мікроорганізмів, що утворюються протягом 60 діб дозрівання; на 34,2 % - за швидкістю розвитку молочнокислих мікроорганізмів у період дозрівання та 12,7 % - за загальним вмістом ненасичених жирних кислот (табл.2). Загальний вміст жирних кислот для даного зразка знаходиться у межах контрольної межі. При використанні інтегральної оцінки факторний простір якісного стану складає 130,4 % від факторного простору контрольного зразка (табл.3). Враховуючи, що використані оціночні характеристики є позитивними, то така оцінка свідчить про більш високий якісний стан зразка №2 сичужного сиру за розробленою рецептурою порівняно із контрольним зразком та зразком №1.

Використовуючи описану методику розрахунку та результати відповідних експериментальних досліджень, були отримані оціночні характеристики якісного стану зразка №3 сичужного сиру та занесені до таблиці 2.

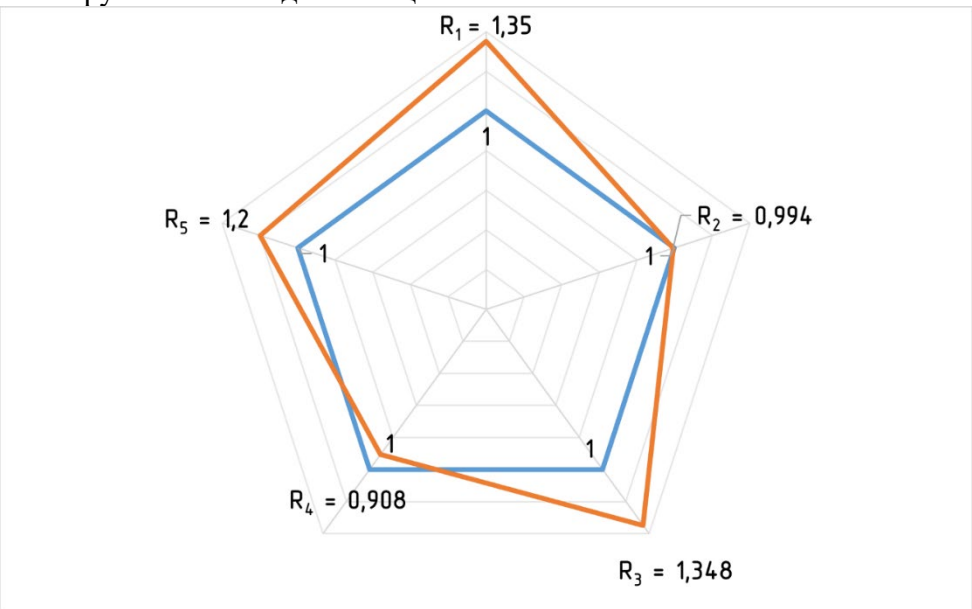

Рисунок. 3. Математична модель якості досліджуваного зразка № 3 сичужного сиру при використанні однобічної оцінки факторного простору

Аналіз геометричних моделей на рис. 3 свідчить, що зразок № 3 сичужного сиру за розробленою рецептурою при використанні диференціальної оцінки перевищує контрольні значення за чотирьома характеристиками, зокрема, на 35 % за максимальна кількістю молочнокислих мікроорганізмів, що утворюються протягом 60 діб дозрівання; на 34,8 % - за швидкістю розвитку молочнокислих мікроорганізмів у період дозрівання та 20 % - за загальним вмістом ненасичених жирних кислот (табл. 2). Загальний вміст жирних кислот для

даного зразка знаходиться у межах контрольної межі. При використанні інтегральної оцінки факторний простір якісного стану складає 132 % від факторного простору контрольного зразка (табл.3). Враховуючи, що використані оціночні характеристики є позитивними, то така оцінка свідчить про більш високий якісний стан зразка № 3 сичужного сиру за розробленою рецептурою порівняно із контрольним зразком, зразками № 1 та № 2.

Для реалізації інтегральної оцінки досліджуваних зразків сичужного сиру під час використання факторних просторів було обрано такі критерії оцінювання (табл.3) та рис. 3.

Таблиця 3. Критерії оцінки якісного стану досліджуваних зразків сижучного сиру

№ п/п	Зразки досліджуваних сижучного сиру	Факторна площа		Критерії оцінки якості ковбас	
		$S_к$, ум. од^2	S_i, ум. од^2	$k_{вія}$	$k_{пяз}$
1	***Зразок №1***	2,378	2,68	1,13	0,127
2	***Зразок №2***	2,378	3,1	1,304	0,304
3	***Зразок №3***	2,378	3,15	1,32	0,325
3	***Контрольний зразок***	2,378	2,378	1,0	-

Примітка: S_i – факторна площа поточних параметрів, що визначалась за двобічною оцінкою; $S_к$ – факторна площа контрольного зразка; $k_{вія}= S_i /S_к$ – коефіцієнт відповідності заданому інтервалу якості; $k_{пяз} = (S_i – S_к) /S_к$ – коефіцієнт потенційного зростання якості

Коефіцієнт відповідності заданому інтервалу якості $k_{вія}$ показує, наскільки факторна площа поточних параметрів відповідного зразка продукції відрізняється від нормативної та визначається за формулою (Palamarchuk *et al*., 2025; Palamarchuk *et al*., 2026; Mushtruk *et al*., 2026):

$$k_{вія}= S_i /S_н \quad (5)$$

Коефіцієнт потенційного зростання якості $k_{пяз}$ показує, наскільки зміна факторних площ обраних оціночних параметрів відповідного зразка продукції відрізняється від контрольного зразка та визначається за формулою (Palamarchuk *et al*., 2025; Palamarchuk *et al*., 2026; Mushtruk *et al*., 2026):

$$k_{пяз}= (S_i - S_к) /S_к \quad (6)$$

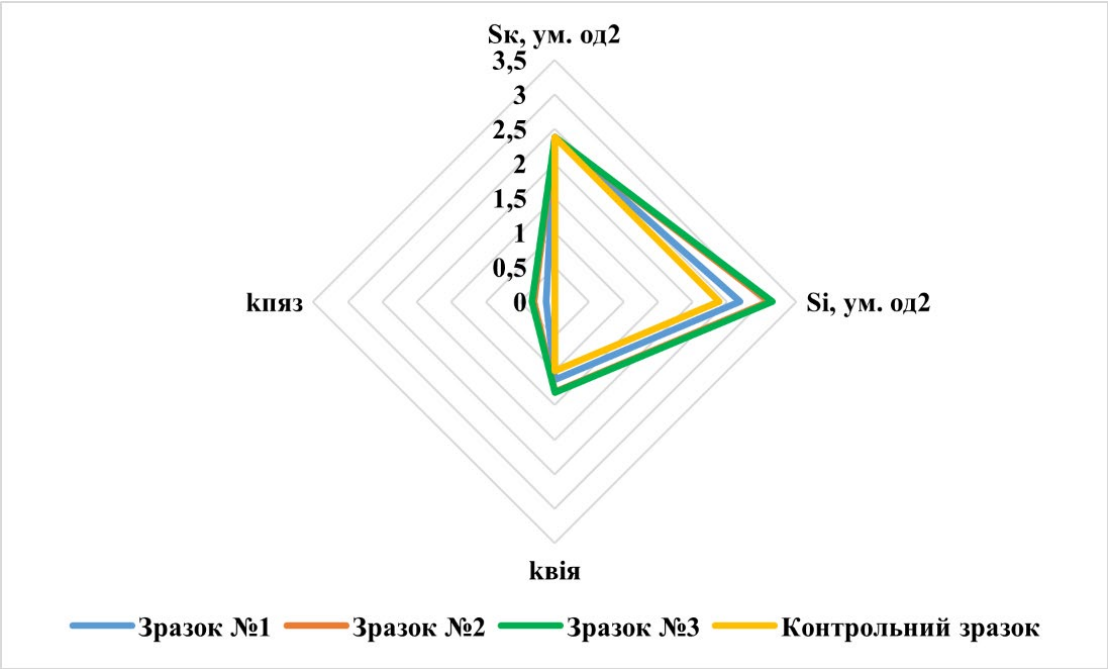

Рисунок. 4. Порівняльний аналіз зміни критеріїв оцінки якості досліджуваних зразків сичужного сиру

Найбільшим за якістю факторним простором виявився у зразка № 3 сичужного сиру за розробленою рецептурою, що є більшим на 17,5% для зразка № 1 та 1,6 % – для зразка № 2. За потенційним зростанням якісного стану зразок № 3 перевищує даний показник зразка №1 у 2,56 рази та зразок № 2 – на 6,9 %.

Результати проведених досліджень підтверджують перспективність використання насіння льону як рослинного компонента в технології твердого сиру та доцільність застосування методу факторних площ для комплексного оцінювання його якісного стану. Встановлено, що введення насіння льону до рецептури супроводжувалося зміною комплексу досліджуваних показників, а зі збільшенням його масової частки від 1,5 до 5,0 % спостерігалося послідовне зростання інтегральної оцінки. Серед дослідних варіантів найбільшим факторним простором характеризувався зразок № 3 із вмістом 5,0 % насіння льону, що свідчить про його перевагу за сукупністю використаних критеріїв.

Отримані результати узгоджуються з даними Klir Šalavardić et al. (2024), які досліджували можливість коригування жирнокислотного складу напівтвердого козячого сиру шляхом використання конопляної макухи. Авторами встановлено позитивний вплив рослинної сировини на формування жирнокислотного профілю продукту, зокрема на вміст ненасичених жирних кислот. Спільним для обох досліджень є підтвердження можливості цілеспрямованого коригування харчової та біологічної цінності сирів за рахунок компонентів рослинного походження. Водночас дослідження відрізняються видом рослинної сировини та способом її використання: Klir Šalavardić et al. (2024) застосовували коноплянy сировину, тоді як у нашій роботі насіння льону безпосередньо додавали до рецептури твердого сиру.

Подібні закономірності простежуються в дослідженні El-Metwally et al. (2023), присвяченому оцінюванню якості твердого сиру з використанням пасти денатурованого сироваткового білка. Авторами встановлено, що модифікація рецептурного складу продукту впливає на його жирнокислотний склад та інші технологічно важливі характеристики. Зокрема, внесення додаткового компонента сприяло зменшенню частки насичених і збільшенню частки ненасичених жирних кислот. Подібна тенденція встановлена й у нашому дослідженні: зі збільшенням вмісту насіння льону частка насичених жирних кислот зменшувалася, тоді як вміст поліненасичених жирних кислот зростав. Водночас результати El-Metwally et al. (2023), як і отримані нами дані, свідчать про необхідність оцінювання модифікованих сирів не за одним окремим показником, а за комплексом взаємопов'язаних характеристик.

Перспективність використання насіння рослин у технології сирів підтверджується також результатами дослідження Sağdıç and Emirmustafaoğlu (2025). Автори відзначають, що рослинне насіння є джерелом білків, харчових волокон, вітамінів, мінеральних речовин і біологічно цінних ліпідних компонентів, що створює передумови для підвищення харчової та функціональної цінності готового продукту. Результати нашого дослідження конкретизують ці положення щодо використання насіння льону та показують, що збільшення його частки в дослідженому діапазоні супроводжується не лише зміною жирнокислотного складу, а й зростанням інтегральної оцінки якісного стану твердого сиру.

Одержані результати також узгоджуються з даними Sheikh et al. (2023), які досліджували можливість використання насіння кунжуту в технології сиру. Дослідниками встановлено перспективність застосування рослинної сировини для модифікації жирової складової продукту, зменшення вмісту насичених жирних кислот і формування продуктів із покращеними функціональними властивостями. Спільною рисою дослідження Sheikh et al. (2023) та нашої роботи є використання насіння олійних культур як інструменту цілеспрямованого формування властивостей сиру. Відмінність полягає у виді рослинної сировини та методичному підході до оцінювання отриманого ефекту. У нашому дослідженні вплив насіння льону оцінювали за сукупністю показників розвитку молочнокислих

мікроорганізмів і жирнокислотного складу з подальшим формуванням інтегральної характеристики якості продукту.

Порівняння отриманих результатів із даними зазначених авторів показує, що більшість досліджень сирів із рослинними або іншими функціональними компонентами орієнтована на аналіз окремих груп показників – жирнокислотного складу, харчової цінності, фізико–хімічних, структурно-механічних або функціональних властивостей. Такий підхід дає змогу встановити спрямованість зміни конкретної характеристики, однак ускладнює формування узагальненої оцінки у випадках, коли модифікація рецептури одночасно впливає на кілька різних показників.

У цьому контексті методологічний інтерес становлять положення Moughan and Lim (2024) щодо необхідності вдосконалення підходів до оцінювання харчової цінності продуктів. Розглядаючи питання оцінювання якості харчового білка, автори акцентують увагу на важливості врахування комплексу фізіологічно значущих характеристик. Хоча предметна спрямованість їхнього дослідження відрізняється від нашої, спільною методологічною позицією є необхідність переходу від інтерпретації окремого показника до більш комплексного представлення властивостей харчового продукту.

Зазначений підхід певною мірою також співвідноситься з положеннями Hoffer (2016), який розглядає білкову та амінокислотну цінність харчування як систему взаємопов'язаних біохімічних і фізіологічних характеристик. З позицій нашого дослідження принципове значення має необхідність урахування сукупності параметрів під час формування узагальненої характеристики харчового продукту. Це особливо актуально для продуктів із модифікованим рецептурним складом, оскільки введення додаткового компонента може одночасно впливати на кілька характеристик готової продукції.

Отримані нами результати розвивають зазначений підхід у напрямі комплексного оцінювання якості твердого сиру з насінням льону. Застосування методу факторних площ дало змогу привести різні за фізичною природою показники до зіставного безрозмірного вигляду та інтегрувати їх у єдиний факторний простір. На відміну від диференційованого аналізу окремих характеристик, такий підхід забезпечив можливість кількісно оцінити сукупний ефект модифікації рецептури та порівняти дослідні зразки з контрольним за комплексом обраних критеріїв.

Важливим результатом є встановлена закономірність збільшення факторної площі зі зростанням масової частки насіння льону. Для контрольного зразка факторна площа становила 2,378 ум. од.^{2}, тоді як для дослідних зразків із 1,5; 3,0 та 5,0 % насіння льону вона збільшувалася відповідно до 2,68; 3,10 та 3,15 ум. од.^{2}. Коефіцієнт відповідності контрольному зразку для зразків № 1, № 2 та № 3 становив відповідно 1,13; 1,304; 1,32. Така динаміка свідчить, що встановлений ефект був зумовлений не зміною одного окремого показника, а сукупністю досліджуваних характеристик.

Таким чином, отримані результати загалом узгоджуються з висновками Klir Šalavardić et al. (2024), El-Metwally et al. (2023), Sağdıç and Emirmustafaoğlu (2025) та Sheikh et al. (2023) щодо перспективності використання рослинних компонентів для цілеспрямованого формування складу та властивостей сирів. Водночас принциповою особливістю проведеного дослідження є комплексний підхід до оцінювання отриманого ефекту. Використання методу факторних площ дало змогу одночасно врахувати показники розвитку молочнокислих мікроорганізмів і жирнокислотного складу, представити їх у єдиному факторному просторі та отримати інтегральну характеристику якості готового продукту.

За сукупністю використаних критеріїв найвищу інтегральну оцінку отримано для зразка № 3 із вмістом 5,0 % насіння льону, факторна площа якого становила 3,15 ум. од.^{2} або 132 % від відповідного показника контрольного зразка. Отже, саме цей варіант характеризувався найвищим комплексним показником серед досліджених рецептур. Водночас отриманий результат слід розглядати в межах дослідженого діапазону вмісту насіння льону та обраної системи критеріїв. Подальше обґрунтування оптимального рецептурного складу доцільно

здійснювати з урахуванням органолептичних, структурно-механічних, технологічних та інших показників якості готового продукту.

Отже, наукове значення отриманих результатів полягає не лише у підтвердженні перспективності використання насіння льону для цілеспрямованого коригування характеристик твердого сиру, а й у застосуванні комплексного підходу до оцінювання наслідків такої рецептурної модифікації. Метод факторних площ забезпечує можливість інтегрування різнотипних експериментальних показників у єдиний факторний простір та кількісного порівняння дослідних рецептур за сукупністю критеріїв, що розширює методичні можливості оцінювання якості багатокомпонентних харчових продуктів.

ВИСНОВКИ. Для комплексного оцінювання якісного стану твердого сичужного сиру з насінням льону застосовано метод факторних площ, який забезпечив поєднання диференціального та інтегрального оцінювання досліджуваних показників. Математичне моделювання здійснювали за п'ятьма характеристиками, що відображали динаміку розвитку молочнокислих мікроорганізмів упродовж 60 діб дозрівання та жирнокислотний склад готового продукту.

Переведення експериментальних показників у безрозмірну форму та побудова відповідних факторних просторів дали змогу кількісно зіставити якісний стан дослідних і контрольного зразків. Для інтегрального оцінювання використовували факторну площу, коефіцієнт відповідності контрольному зразку та коефіцієнт потенційного зростання якості.

За сукупністю досліджуваних показників найвищу інтегральну оцінку отримано для зразка № 3 із вмістом насіння льону 5,0 %. Його факторна площа становила 3,15 ум. од.^{2} і перевищувала відповідні значення зразків № 1 та № 2 на 17,5 та 1,6 % відповідно. За коефіцієнтом потенційного зростання якості зразок № 3 перевищував зразок № 1 у 2,56 раза, а зразок № 2 – на 6,9 %.

Отже, застосування методу факторних площ дало змогу отримати узагальнену кількісну характеристику якісного стану твердого сичужного сиру та встановити перевагу рецептури з 5,0 % насіння льону серед досліджених варіантів. Запропонований підхід може бути використаний для комплексного порівняльного оцінювання якості харчових продуктів із модифікованим рецептурним складом.

Подяки. Немає.
Конфлікт інтересів. Немає.

References

Arango, S., Guzzo, N., Currò, S., Bianco, E., Simonetti, E., Rainis, S., Renoldi, N., Innocente, N., & Bailoni, L. (2026). Effect of replacing corn silage with alternative silages on quality, fatty acids, and volatile compounds of Italian semi-hard raw milk cheese. *Frontiers in Veterinary Science*, 13, 1769978. https://doi.org/10.3389/fvets.2026.1769978

Bittante, G., Amalfitano, N., Tagliapietra, F., Schiavon, S., Cipolat-Gotet, C., & Stocco, G. (2024). Characterization of the detailed fatty acid profiles of a large number of types of cheese from the mountains and plains. *Foods*, 13(24), 4040. https://doi.org/10.3390/foods13244040

Calder, P. C., Cawood, A. L., James, C., Page, F., Putnam, S., & Minihane, A. M. (2026). An overview of national and international long-chain omega-3 polyunsaturated fatty acid intake recommendations for healthy populations. *Nutrition Research Reviews*, 39, e6, 1–12. https://doi.org/10.1017/S0954422425100279

Chen, C., & Pan, Z. (2023). An overview of progress, challenges, needs, and trends in mathematical modeling approaches in food drying. *Drying Technology*, 41(16), 2586–2605.

Dalevska, D., Pokotylo, O., Kukhtyn, M., Kopchak, N., Salata, V., Horiuk, Y., & Uglyar, T. (2021). Changes in the organoleptic, microbiological, and biochemical properties of iodine-added kefir

during storage. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 15, 732–740. https://doi.org/10.5219/1679

Egalini, F., Riccio, E., Grasso, M., Nelva, A., & De Geronimo, V. (2026). Omega-3 polyunsaturated fatty acid formulations in cardiovascular prevention: Balancing clinical efficacy, safety, and environmental sustainability. *Nutrients*, 18(15), 2538. https://doi.org/10.3390/nu18152538

El-Metwally, R. I., El-Menawy, R. K., & Ismail, M. M. (2023). Correlation between free fatty acids content and textural properties of Gouda cheese supplemented with denatured whey protein paste. *Journal of Food Science and Technology*, 60, 590–599. https://doi.org/10.1007/s13197-022-05643-6

Erdogdu, F. (2023). Mathematical modeling of food thermal processing: Current and future challenges. *Current Opinion in Food Science*, 51, 101042. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2023.101042

Essa, M. M., Bishir, M., Bhat, A., Chidambaram, S. B., Al-Balushi, B., Hamdan, H., Govindarajan, N., Freidland, R. P., & Qoronfleh, M. W. (2021). Functional foods and their impact on health. *Journal of Food Science and Technology*, 60(3), 820–834. https://doi.org/10.1007/s13197-021-05193-3

Hoffer, L. J. (2016). Human protein and amino acid requirements. *Journal of Parenteral and Enteral Nutrition*, 40(4), 460–474. https://doi.org/10.1177/0148607115624084

Horiuk, Y., & Uglyar, T. (2021). Changes in organoleptic, microbiological, and biochemical properties of kefir with iodine addition during storage. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 15, 732–740. https://doi.org/10.5219/1679

Hueso, D., Paterson, S., Martínez-Sánchez, V., Hernández-Ledesma, B., Pérez-Gálvez, A., Fontecha, J., & Gómez-Cortés, P. (2025). *In vitro* gastrointestinal digestion of fresh cheese: Effect of ω-3 fatty acids and milk fat globule membrane enrichment on nutrient digestibility and antioxidant activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 73(44), 28240–28249. https://doi.org/10.1021/acs.jafc.5c10823

Karpyk, H., Kukhtyn, M., Selskyi, V., Nazarko, I., Pokotylo, O., & Haidamaka, M. (2021). Research on the technological properties of bread made with the addition of beet kvass. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*, 23(96), 3–7. https://doi.org/10.32718/nvlvetf9601

Klir Šalavardić, Ž., Novoselec, J., Ćavar, S., & Antunović, Z. (2024). Effect of dietary cold-pressed hempseed cake on the fatty acid profile of semi-hard cheese made from goat milk. *Mljekarstvo*, 74(2), 142–155. https://doi.org/10.15567/mljekarstvo.2024.0205

Kowalska, H., Czajkowska, K., Cichowska, J., & Lenart, A. (2023). Functional and nutritional properties of meat products enriched with plant ingredients: A review. *Foods*, 12(7), 1365. https://doi.org/10.3390/foods12071365

Kukhtyn, M., Kopchak, N., Salata, V., Horiuk, Y., & Uglyar, T. (2021). Changes in organoleptic, microbiological, and biochemical properties of kefir with iodine addition during storage. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 15, 732–740. https://doi.org/10.5219/1679

Kukhtyn, M., Kravchenyuk, K., Selskyi, V., Pokotylo, O., Vichko, O., Kopchak, N., & Hmelar, A. (2022). Evaluation of spontaneous fermentation with basil content in the technology of rye-wheat bread production. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*, 24(97), 14–19. https://doi.org/10.32718/nvlvet-f9703

Lialyk, A., Pokotylo, O., Kukhtyn, M., Beyko, L., Horiuk, Y., Dobrovolska, S., & Mazur, O. (2020). Fatty acid composition of curd spread with different flax oil content. *Nova Biotechnologica et Chimica*, 19(2), 216–222. https://doi.org/10.36547/nbc.v19i2.776

Mititelu, M., Lupuliasa, D., Neacșu, S. M., Olteanu, G., Busnatu, Ș. S., Mihai, A., Popovici, V., Măru, N., Boroghină, S. C., Mihai, S., Ioniță-Mîndrican, C.-B., & Scafa-Udriște, A. (2025). Polyunsaturated fatty acids and human health: A key to modern nutritional balance in association with polyphenolic compounds from food sources. *Foods*, 14(1), 46. https://doi.org/10.3390/foods14010046

Moughan, P. J., & Lim, W. X. J. (2024). Digestible indispensable amino acid score (DIAAS): 10 years on. *Frontiers in Nutrition*, 11, 1389719. https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1389719

Mushtruk, M., Vasyliv, V., Hidzhelitskyi, V., Mukoid, R., Savchuk, S., Popova, I., Khalin, S., & Mykhniuk, S. (2026). Evaluation of the quality indicators of food-grade glycerin derived from different oil/fat raw materials. *Scifood*, 20, 333–350. https://doi.org/10.5219/scifood.120

Omachi, D. O., Aryee, A. N. A., & Onuh, J. O. (2024). Functional lipids and cardiovascular disease reduction: A concise review. *Nutrients*, 16(15), 2453. https://doi.org/10.3390/nu16152453

Palamarchuk, I., Adamchuk, L., Palamarchuk, V., Andrushchenko, M., Priss, O., Glowacki, S., Hutsol, T., & Bezaltychna, O. (2024). Assessment of the ecological safety of honey with the help of "Factor Area" models. *Sustainability*, 16(22), 9960. https://doi.org/10.3390/su16229960

Palamarchuk, I., Hudzenko, M., & Domin, O. (2026). Sunflower oil quality control parameters using mathematical modeling. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, 705–718. https://doi.org/10.1007/978-3-032-14926-8_57

Palamarchuk, I., Mushtruk, M., Piddubny, V., Osokina, N., Chahaida, A., Mihailik, V., Herasymchuk, O., & Tkachenko, H. (2025). Modeling of the qualitative state of oilseeds from soybean seeds by multifactorial analysis of factor areas. *Scifood*, 19, 61–78. https://doi.org/10.5219/scifood.5

Paszczyk, B. (2022). Cheese and butter are sources of health-promoting fatty acids in the human diet. *Animals*, 12(23), 3424. https://doi.org/10.3390/ani12233424

Poli, A., Agostoni, C., & Visioli, F. (2023). Dietary fatty acids and inflammation: Focus on the n-6 series. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(5), 4567. https://doi.org/10.3390/ijms24054567

Sağdıç, B., & Emirmustafaoğlu, A. (2025). Use of plant seeds in cheese production. *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, 13(9), 2603–2614. https://doi.org/10.24925/turjaf.v13i9.2603-2614.7695

Semeniuc, C. A., Mandrioli, M., Socaci, B. S., Socaciu, M.-I., Fogarasi, M., Podar, A. S., Michiu, D., Jimborean, A. M., Mureşan, V., Ionescu, S. R., & Gallina Toschi, T. (2022). Changes in lipid composition and oxidative status during ripening of Gouda-type cheese as influenced by the addition of lavender flower powder. *International Dairy Journal*, 133, 105427. https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2022.105427

Sheikh, F., Hasani, M., Kiani, H., JavadAsadollahzadeh, M., & Seyfi, J. (2022). Investigation of textural, rheological, and sensory properties of white cheese analog containing sesame seed oleosomes. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 17(1), 63–74. https://doi.org/10.1007/s11694-022-01582-0

Ustymenko, I., Bal-Prylypko, L., Nikolaenko, M., Ivaniuta, A., Tverezovska, N., Chumachenko, I., Pylypchuk, O., Rozbytska, T., Gruntovskyi, M., & Melnik, V. (2023). Development of sour cream with vegetable oils using a food emulsion stabilized by an emulsifying complex. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 17, 159–169. https://doi.org/10.5219/1849

Ustymenko, I., Savchenko, O., Tolok, G., Kryzhova, Y., Rudyk, Y., Rybchynskyi, R., Tyshchenko, L., Ochkolyas, O., Kostiuk, T., & Marchyshyna, Y. (2023). Study of indicators of quality and safety of sour cream with vegetable oils. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 17, 444–454. https://doi.org/10.5219/1876

УДК 004.89:613.2
https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2026.67

ПЕРСОНАЛІЗОВАНА НУТРИЦІОЛОГІЯ ТА ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ: СУЧАСНІ ПІДХОДИ, РЕГУЛЯТОРНІ ВИКЛИКИ ТА КЛІНІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Зінаїда Андріївна Бурова
кандидат технічних наук, доцент
https://orcid.org/0000-0002-4712-6298
Максим Миколайович Гудзенко
кандидат технічних наук, доцент
https://orcid.org/0000-0001-7959-3627
Юлія Петрівна Крижова
кандидат технічних наук, доцент
https://orcid.org/0000-0003-1165-8898
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, вул. Героїв Оборони 15, м. Київ, Україна
Денис Володимирович Гайдучек
аспірант
https://orcid.org/0009-0009-2780-3827
Національний університет харчових технологій,
01033, вул. Володимирська 68, м. Київ, Україна

Анотація. Цифровізація охорони здоров'я стимулює перехід від узагальнених моделей дієтології до персоналізованої нутриціології. Традиційні підходи не враховують індивідуальних варіацій у метаболізмі, що знижує їхню ефективність у профілактиці хронічних захворювань. Мета роботи – аналіз систем штучного інтелекту у створенні персоналізованих дієтичних рекомендацій, оцінка їхньої клінічної ефективності, викликів стандартизації та етичних аспектів впровадження. У роботі застосовано систематичний аналіз наукових джерел, метод порівняльного аналізу клінічних досліджень, зокрема рандомізовані контрольовані випробування та концептуальне моделювання операційного потоку даних. Встановлено, що персоналізація дієти є динамічним 5-кроковим циклом: збір мультимодальних даних, аналіз із залученням штучного інтелекту, прогнозування, генерація рекомендацій та зворотний зв'язок у реальному часі. Показано, що певні моделі штучного інтелекту (XGBoost, Stacking) показують точність прогнозування метаболічних ризиків до 96,07%. Оцінення раціону за допомогою комп'ютерного зору та глибокого навчання підвищує точність ідентифікації продуктів на 30% при врахуванні ннаціонального контексту та геолокації.

Клінічні дані підтверджують, що дієтичні рекомендації, розроблені із застосуванням моделей штучного інтелекту, забезпечують зменшення симптомів синдрому подразненого кишечника на 39% та ремісію діабету 2 типу у 72,7% пацієнтів. Таким чином, доведено ефективність залучення технологій штучного інтелекту у створенні персоналізованих рекомендацій для поліпшення здоров'я й зменшення симптомів хронічних захворювань, зокрема, результати показують суттєве покращення метаболічних показників та якості життя пацієнтів.

Також акцентовано на необхідності стандартизації даних та розвитку регуляторних вимог для успішного впровадження персоналізованої нутриціології у клінічну практику. Висвітлюються питання етики, пов’язані з конфіденційністю та відповідальністю у застосуванні штучного інтелекту, а також важливість пояснюваного штучного інтелекту для підвищення довіри пацієнтів

 Creative Commons Attribution 4.0 International Public License

до технологічних рішень у сфері здоров'я. У підсумку окреслено перспективи розвитку персоналізованої нутриціології як нової парадигми у харчуванні, що має потенціал значно вдосконалити підходи до здоров'я і благополуччя людей.
Ключові слова: персоніфікована дієта, машинне навчання, глибоке навчання, аналіз мікробіому, біомаркери метаболізму, пояснюваний штучний інтелект.

UDC 004.89:613.2
https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2026.67

PERSONALIZED NUTRITION AND ARTIFICIAL INTELLIGENCE: MODERN APPROACHES, REGULATORY CHALLENGES, AND CLINICAL EFFICACY

Zinaida Burova
PhD in Technical Sciences, Associate Professor
https://orcid.org/0000-0002-4712-6298
Maksym Hudzenko
PhD in Technical Sciences, Associate Professor
https://orcid.org/0000-0001-7959-3627
Yuliia Kryzhova
PhD in Technical Sciences, Associate Professor
https://orcid.org/0000-0003-1165-8898
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
03041, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, Ukraine
Denis Gaiduchek
Postgraduate Student
https://orcid.org/0009-0009-2780-3827
National University of Food Technologies,
01033, 68 Volodymyrska St., Kyiv, Ukraine

Abstract. The digitalization of healthcare is driving a shift from generalized dietary models to personalized nutrition. Traditional approaches fail to account for individual metabolic variations, which reduces their effectiveness in chronic disease prevention. The objective of this paper is to analyze artificial intelligence systems in generating personalized dietary recommendations, evaluate their clinical efficacy, address data standardization challenges, and explore ethical implementation aspects. The study employs a systematic review of scientific sources, a comparative analysis of clinical trials—specifically randomized controlled trials—and conceptual modeling of the operational data flow. It was established that dietary personalization operates as a dynamic 5-step loop: multimodal data collection, AI-driven analysis, prediction, recommendation generation, and real-time feedback. Certain artificial intelligence models (XGBoost, Stacking) demonstrated a metabolic risk prediction accuracy of up to 96.07%. Dietary assessment utilizing computer vision and deep learning improves food recognition accuracy by 30% when accounting for national context and geolocation.

Clinical data confirm that dietary recommendations developed using artificial intelligence models achieve a 39% reduction in irritable bowel syndrome symptoms and a 72.7% diabetes type 2 remission rate. Thus, the efficacy of incorporating artificial intelligence technologies into personalized recommendations for health improvement and symptom reduction in chronic diseases has been proven, with results demonstrating significant enhancements in patients' metabolic parameters and life quality.

The necessity of data standardization and regulatory framework development for the successful

implementation of personalized nutrition into clinical practice is also emphasized. Ethical issues regarding privacy and accountability in AI applications are highlighted, alongside the importance of explainable artificial intelligence in fostering patient trust in digital health solutions. Ultimately, the prospects for personalized nutrition as a new paradigm in dietary science with the potential to substantially improve public health and well-being approaches are outlined.

Keywords: precision diet, machine learning, deep learning, microbiome analysis, metabolic biomarkers, explainable artificial intelligence.

ВСТУП. Цифровізація та масштабне використання технологій штучного інтелекту наразі спостерігається в усіх аспектах нашої життєдіяльності. У сфері охорони здоров'я в Україні маємо впровадження системи HELSI, перехід на електронні картки пацієнтів та поступове формування індивідуального підходу до кожного пацієнта. Так само еволюціонують підходи в нутриціології – від традиційних до Персоніфікованої Нутриціології.

Традиційні підходи в нутриціології зазвичай спираються на спрощені середньостатистичні моделі, які мають узагальнений підхід для груп людей, не враховуючи при цьому велику різноманітність індивідуальних реакцій на типізовані рекомендації щодо дієтичного харчування. Це обмеження призводить до недостатньої ефективності в управлінні складними хронічними захворюваннями та покращенні загального самопочуття окремої особи. Такі моделі є застарілими та не здатні адекватно враховувати особливі взаємозв'язки між генетичними, фенотипічними факторами та способом життя, що й стало основою для розвитку концепції Персоніфікованої Нутриціології (PN – Precision Nutrition, або «точна» нутриціологія) (Verma et al., 2018; Martynchuk et al., 2025; Agrawal et al., 2025).

PN передбачає розроблення дієтичних рекомендацій, які враховують індивідуальні особливості кожної людини на основі комплексного аналізу її генетики, фенотипу (таких як біомаркери та мікробіом), а також поведінкових аспектів. Це потребує використання технологій, здатних об'єднувати та аналізувати великі обсяги різноманітних даних. Саме тут у нагоді стають сучасні інструменти штучного інтелекту (AI – Artificial Intelligence) та технології Big Data («великих даних»), оскільки саме за їх допомогою можливо проводити масштабне кількісне оцінення індивідуальних реакцій, яка була недоступною у традиційних методах.

Big Data у контексті персоніфікованої нутриціології охоплює не лише великі обсяги інформації, а й швидкісне збирання даних, що відбувається в реальному часі за допомогою різних носимих пристроїв – це можуть бути смарт-годинники та кільця, фітнес-трекери тощо. Крім того, важливим є різноманіття джерел цих даних, що й робить Big Data важливим інструментом для індивідуалізації підходів до харчування.

Штучний інтелект, в свою чергу, використовує й опрацьовує великі масиви отриманих даних для створення прогностичних моделей, які адаптуються до особливостей метаболізму та поведінкових закономірностей кожної людини (Martynchuk et al., 2025). AI також допомагає виявляти складні зв'язки між харчуванням і клінічними результатами, що є складним, а подекуди й неможливим завданням для ручного опрацювання з використанням традиційних методів аналізу. Отже, Big Data постачає необхідні дані, а штучний інтелект перетворює їх на детальні рекомендації щодо харчування, адаптовані до індивідуальних потреб.

Згідно аналізу досліджень фахівців, модель персоналізованої нутриціології, керованої AI, узагальнено можна представити динамічним 5-кроковим процесом, що забезпечує постійну адаптацію рекомендацій до фізіологічних змін індивіда. Основні етапи наступні:

1. збирання даних: агрегацію мультимодальних даних (генетичні біомаркери, характеристики мікробіому та харчові звички особи);

2. AI-аналіз: застосування алгоритмів машинного навчання для виявлення патернів у отриманих даних, що дозволяють визначити, які фактори найбільше впливають на здоров'я пацієнта;

3. прогнозування: моделювання індивідуальних реакцій на харчові компоненти, що допомагає передбачити вплив на здоров'я особи конкретних продуктів;

4. генерація рекомендацій: створення адаптивних дієтичних планів з врахуванням унікальних потреб пацієнта;

5. зворотний зв'язок: моніторинг результатів в реальному часі для внесення коректив у дієту згідно з прогресом пацієнта.

Інфографіку моделі персоналізованої нутриціології, керованої AI, представлено на рис. 1.

Рисунок 1. Операційний потік персоналізації на основі AI

Найважливішим параметром в цій моделі є її циклічність. Оскільки людський організм постійно змінюється, тому й дієта не може бути статичною. Завдяки постійному зворотному зв'язку (крок 5) штучний інтелект не просто видає разову пораду, а безперервно навчається на індивідуальних реакціях організму – оцінює рівень цукру, сон чи самопочуття і миттєво підлаштовує раціон під нові потреби. Це перетворює харчування з одноразової фіксованої дієти на живу адаптивну систему, яка змінюється разом із людиною та допомагає досягати реальних результатів у довгостроковій перспективі.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. Застосування штучного інтелекту в нутриціології наразі є однією з найбільш обговорюваних тем у рецензованій літературі, що відображено в ключових систематичних оглядах, індексованих у Scopus та Web of Science, зокрема, авторів Zale and Mathioudakis (2022), Yang (2022) Detopoulou et al. (2023), Mansouri et al. (2023), Fonseca et al. (2025). Ці дослідження підтверджують трансформаційний потенціал технологій у клінічних умовах. У фокусі більшості досліджень, з огляду на завдання персоналізації, є інтеграція різноманітних джерел даних та здатність AI розпізнавати складні біологічні патерни. Більшість систем AI, які наразі застосовуються для персоналізованих дієтичних рекомендацій, використовують алгоритми машинного навчання (ML – Machine Learning), а деякі впроваджують глибоке навчання (DL – Deep Learning) та гібридні підходи, інтегруючи ML із системами

Інтернету Речей (IoT – Internet of Things) для надання рекомендацій у режимі реального часу (Gaiduchek et al., 2025)

В огляді Li et al. (2025) представлено ґрунтовний аналіз щодо використання AI та ML для оцінки раціону харчування на основі зображень та сенсорів з подальшим впровадженням у персоніфікованій нутриціології.В роботі Rafie et al. (2025) описано створення, впровадження та практичну значущість прогностичних моделей («предиктивного моделювання») у сфері громадського здоров'я, епідеміології та безпеки харчових продуктів.

Аналіз клінічних досліджень (Wang et al., 2020; Rafie et al., 2025), проведених у формі систематичного огляду, що включає 11 досліджень, серед яких Рандомізовані контрольовані випробування (РКВ), показує обнадійливі результати щодо клінічної ефективності персоналізованих дієт, згенерованих AI, а саме:

- впливи, керовані AI, призвели до покращення метаболічного здоров'я, глікемічного контролю та психологічного благополуччя пацієнтів (Wang et al., 2020)
- зафіксовано значні позитивні результати у лікуванні хронічних захворювань, зокрема зменшення тяжкості симптомів синдрому подразненого кишечника (СПК) на 39% (Gavai and van Hillegersberg, 2025)
- рівень ремісії діабету 2 типу становив 72,7% серед пацієнтів (Gavai and van Hillegersberg, 2025)
- у дев'яти дослідженнях, які мали контрольні групи, шість продемонстрували статистично значуще покращення результатів у групах, які отримували дієтичні рекомендації на основі AI, два знайшли порівнянні або кращі результати в групах AI, і лише одне дослідження не виявило різниці (Gavai and van Hillegersberg, 2025)

Ці клінічні дані, що базуються на РКВ та систематичних оглядах, свідчать про те, що дієтичні втручання, згенеровані AI на основі аналізу біомаркерів (зокрема, це рівень глюкози в крові та склад мікробіому кишечника), мають потенціал перевершити традиційні підходи, надаючи високоперсоналізовані, науково обґрунтовані рекомендації (Wang et al., 2020).

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Для розробки ефективних персоналізованих рекомендацій системи штучного інтелекту потребують доступу до різноманітних даних, які включають біологічні, клінічні та поведінкові характеристики конкретної людини. Розглянемо для прикладу архітектуру даних, яка була запропоновану Romero-Tapiador et al. (2023) в моделі AI4FoodDB («AI-for-Food-DataBase). Для успішного впровадження нутриціологічних заходів автори доводять необхідність поєднати до десяти основних наборів даних, які відображають різні типи інформації, отриманої в процесі комплексного дослідження (рис. 2)

Ці набори даних можна розділити на дві основні категорії:

1. **Клінічні та фізіологічні дані** – це об'єктивні вимірювання, критичні для оцінки поточного стану здоров'я та прогнозування метаболічного ризику:

- антропометричні вимірювання (DS1): використовуються для базової оцінки стану здоров'я та моніторингу ефективності дієтичних впливів.
- життєві показники (DS6): дозволяють відслідковувати динамічні фізіологічні зміни.[4]
- ключові біомаркери (DS4): лабораторні дані, які є основою для розуміння метаболічної функції. Визначальними чинниками є результати аналізів рівнів тригліцеридів (в середньому 106 ± 46 мг/дл), глюкози (82 ± 8 мг/дл), глікованого гемоглобіну HbA1c (5,63 ± 0,34%), інсуліну та LDL-холестеролу. Ці біомаркери є критично важливими предикторами метаболічної відповіді на дієту та ризику розвитку метаболічного синдрому (MetS).
- омiксні дані (DS5): аналіз профілів мікробіому є фундаментальним, оскільки мікробіота кишечника відіграє вирішальну роль у засвоєнні поживних речовин та індивідуальній метаболічній реакції

2. **Дані щодо поведінки та спосіб життя** – необхідна інформація про щоденну поведінку особи, постійний моніторинг біологічних даних про:

- спосіб життя (DS2) та харчування (DS3): дані про дієтичні звички та загальний стан здоров'я.
- динамічні поведінкові дані (DS7, DS8, DS9): включають дані щодо фізичної активності, режиму сну та емоційного стану. Такі дані зазвичай збираються за допомогою носимих цифрових пристроїв – смарт-годинників, кілець, фітнес-трекерів, що забезпечують інформування в режимі реального часу.

Рисунок. 2. Дані бази AI4FoodDB для нутриційного дослідження: антропометричні вимірювання (DS1), спосіб життя та здоров'я (DS2), харчування (DS3), біомаркери (DS4), кишковий мікробіом (DS5), життєві показники (DS6), фізична активність (DS7), активність сну (DS8), емоційний стан (DS9) та додаткова інформація (DS10). Методи збору даних позначені різнокольоровими прямокутниками та іконками: **ручний** (зображений у вигляді блокнота), **клінічний** (мікроскоп) або **цифровий** (смарт-годинник)
Джерело: Адаптовано на основі досліджень Romero-Tapiador et al. (2023)

Потреба у всебічному збиранні даних виникає з того факту, що жоден окремий тип даних не може повністю пояснити складну індивідуальну реакцію організму на рекомендоване харчування.

Процес збирання різноманітних даних (DS1–DS10) є важливим кроком, але найбільша перешкода для широкого впровадження штучного інтелекту в клінічну практику полягає не в обчислювальних потужностях, а в критичній відсутності стандартизації та якості даних.

Існуючі бази даних споживання харчових продуктів стикаються з труднощами в упорядкованому фіксуванні складних харчових патернів та точному оціненні енергетичної та нутрітивної складових вмісту умовної тарілки. Різниця в методах збирання та описах харчових продуктів, а також варіації у генерації їхнього хімічного складу (наприклад, залежно від того, чи зібрано дані в лабораторії, пацієнтом особисто чи медичним закладом узагальнено) створюють суттєві розбіжності.

Для вирішення цих проблем необхідно створити обчислювальну інфраструктуру для персоналізованої нутриціології, яка повинна забезпечити стандартизовані формати даних, спільну термінологію та онтологію, а також можливість обміну даними між різними дослідженнями, лікарнями та лікарями.

Ключовим аспектом такої інфраструктури має бути те, що вона повинна бути сумірна за обсягом та якістю з існуючими базами даних складових харчових продуктів, такими як європейська EuroFIR або американська USDA’s FoodData Central. Стандартизація даних відповідно до глобальних баз даних є критично важливою для забезпечення надійності клінічних даних та можливості обміну інформацією між різними закладами. Відсутність стандартних електронних медичних карток та єдиної онтології призводить до важливого розриву між «великими даними» та «валідними даними» для навчання моделей штучного інтелекту.

Концепція створення справді індивідуальних дієтичних рекомендацій наразі базується на принципі «N-of-1 trial», тобто принцип зосередження досліджень на одному індивіді протягом тривалого періоду. У традиційних групових дослідженнях дані зазвичай усереднюються, що ускладнює їх застосування для конкретного пацієнта. Методологія N-of-1 дослідження передбачають регулярне збирання детальних даних про одну особу щодня або з певними перервами впродовж місяців або років. Цей підхід дозволяє виявити унікальні закономірності та специфічні фактори ризику, які не помітні при обробці групових даних.

Новітні високотехнологічні апарати, такі як носимі пристрої, значно спрощують збирання даних в режимі реального часу. Проте важливо дотримуватись суворих наукових протоколів під час використання методології N-of-1, щоб уникнути суб'єктивних упереджень. Збирання таких динамічних даних в стандартизованій інфраструктурі відкриває нові можливості для адаптації алгоритмів до індивідуальних потреб пацієнтів. Мультимодальний підхід до комплексного збирання даних проілюстровано в табл. 1.

Таблиця 1. Класифікація мультимодальних джерел даних у персоніфікованій нутриціології

Тип даних (DS)	Види вимірювань/ біомаркери	Метод збирання даних	Значення для моделювання ПН
DS1: Антропометричні	ІМТ, Вага, Зріст	Ручний/ Клінічний	Базове оцінення стану здоров'я та ефективності дієтичних заходів

DS4: Біомаркери	Глюкоза, HbA1c, Тригліцериди (106 ± 46 мг/дл), Інсулін	Клінічний (лабораторний аналіз)	Предиктори метаболічної відповіді та ризику MetS
DS5: Мікробіом	Таксономічний профіль, Функціональність	Клінічний	Індивідуальна реакція на макро/мікронутрієнти
DS7-DS9: Спосіб Життя	Фізична активність, Режим сну, Емоційний стан	Цифровий (Smartwatch, Опитування)	Контекстуалізація та адаптація рекомендацій у реальному часі

Джерело: узагальнено на основі моделі AI4FoodDB авторів Romero-Tapiador et al. (2023)

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Машинне навчання допомагає перетворювати великі та складні обсяги даних у моделі, здатні прогнозувати, як саме людина реагуватиме на різні дієтичні зміни. В роботі Gavai and van Hillegersberg, (2025) показано значну клінічну цінність ML-моделей, особливо коли мова йде про виявлення людей, які знаходяться в групі високого ризику розвитку Метаболічного Синдрому (MetS) на ранніх стадіях. Для цього використовуються різноманітні дані, включаючи демографічні, генетичні та клінічні.

Наприклад, особливу ефективність показали такі сучасні і потужні ML-моделі класу ансамблевих методів, як Stacking і XGBoost. Вони здатні об'єднати декілька алгоритмів для отримання значно точнішого передбачення, ніж це може зробити будь-яка окрема модель. Дослідження Romero-Tapiador et al. (2023) продемонстрували, що такі підходи, добре прогнозують втрату ваги та поліпшення показників MetS у людей, які дотримуються середземноморської дієти. Серед ключових факторів, що впливають на ці моделі, виділяють вік, маркери інсулінорезистентності та запальні біомаркери. Важливість інсулінорезистентності, як основного предиктора, підкреслює необхідність постійного моніторингу, оскільки цей показник тісно пов’язаний із харчуванням та способом життя.

У дослідженні Wang et al. (2020) показано, що прогностичну ефективність підвищують такі параметри, як показники глюкози натще, наявність жирової дистрофії печінки, індекси червоних кров'яних клітин та фактори способу життя, наприклад, вживання енергетичних напоїв і час, проведений за телевізором. Висока точність цих ансамблевих моделей підтверджує синергію між динамічними клінічними біомаркерами та поведінковими даними. Така інтеграція дозволяє створити механізм зворотного зв'язку, необхідний для постійного вдосконалення дієтичних рекомендацій, на відміну від статичних генетичних прогнозів (Gavai and van Hillegersberg, 2025).

Одним з найбільш складних завдань у клінічній нутриціології вважається оцінення фактичного споживання їжі. З 2015 року традиційні алгоритми поступово замінюються моделями глибокого навчання, такими як нейронні мережі CNN (Convolutional Neural Networks) і генеративні мережі GAN (Generative Adversarial Networks). Новаторський підхід демонструє оцінка раціону харчування за допомогою зображень (Image-Assisted Dietary Assessment – IADA), що використовує алгоритми комп'ютерного зору для імітації людського сприйняття дієтичної інформації, зокрема для розпізнавання їжі та оцінки обсягу порцій на основі зображень (Chotwanvirat et al., 2024; Liu et al., 2025). Методології глибокого навчання для розпізнавання їжі наразі поєднують:

1. Навчання з перенесенням – цей підхід зменшує потребу в великих маркованих наборах даних про їжу. Моделі спочатку навчаються на великих загальних датасетах (наприклад, ImageNet), а потім тонко налаштовуються для конкретних завдань розпізнавання їжі.

2. Самостійне навчання – використовується для підвищення здатності моделі до узагальнення, у тому числі шляхом прогнозування прихованого вмісту на частинах зображення.

Цікавим фактом є те, що чисто візуальні дані можуть мати культурні упередження. Щоб підвищити точність і практичну цінність моделей, використовують метод злиття мультимодальних даних. Поєднання візуальної інформації з додатковими даними, такими як традиційні рецепти місцевої кухні та геолокація, може компенсувати культурні та регіональні відмінності. Дослідження Liu et al. (2025) показали, що врахування географічного розташування може підвищити продуктивність розпізнавання їжі приблизно на 30%.

Аналіз результатів прогностичної продуктивності алгоритмів штучного інтелекту підсумовано у табл. 2.

Таблиця 2. Продуктивність алгоритмів ML/DL у персоніфікованій нутриціології

Завдання	**Алгоритм**	**Ключові предиктори/ вхідні дані**	**Точність**	**Результат**
Прогнозування MetS/Діабету	XGBoost (Ensemble)	Глюкоза натще, Жирова дистрофія печінки, Індекси еритроцитів	Accuracy: 96.07%, AUC: 99.29% (Rafie et al., 2025)	Висока ефективність у доклінічній ідентифікації MetS (Li et al., 2025)
Покращення MetS на дієті	Stacking/ XGBoost	Вік, Маркери інсулінорезистент-ності, Запальні біомаркери	Висока прогностична ефективність (Li et al., 2025)	Оптимізація індивідуалізованих дієтичних втручань
Оцінка раціону (IADA)	Deep Learning CNN/GAN	Зображення їжі + Геолокація/Текст рецепту	Підвищення точності до 30% (Wang et al., 2020)	Підвищення практичної цінності платформ відстеження дієти (Rafie et al., 2025)

Отже, інтеграція Big Data у практику персоніфікованої нутриціології відбувається завдяки комбінації різних класів алгоритмів:

1. Предиктивне моделювання – використовує ансамблеві ML-моделі (XGBoost, Stacking) для прогнозування індивідуальної реакції (наприклад, метаболічної відповіді на глюкозу) та ризику розвитку хронічних захворювань (MetS, діабет).
2. Глибоке Навчання (Deep Learning) – застосовується переважно у Image-Assisted Dietary Assessment (IADA), з використанням CNN/ GAN-моделей для розпізнавання їжі, оцінки порцій та розрахунку калорійності за зображенням.
3. Рекомендаційні системи – працюють на основі ML та Генеративного AI, пропонують персоналізовані продукти, рецепти та дієтичні плани, враховуючи генетику, метаболічні потреби

та смакові вподобання. Таким чином, новітні технології дозволяють створювати більш індивідуалізовані підходи у харчуванні, що враховують особисті потреби кожного організму.

Практичне застосування алгоритмів штучного інтелекту в персоніфікованій нутриціології – це інтелектуальні програми для управління здоров'ям та різноманітні програмні застосунки, які використовують попередньо навчені ML/DL моделі для ідентифікації їжі та розрахунку її поживної цінності.

Алгоритми машинного навчання також наразі активно використовуються для аналізу ринкових трендів та уподобань споживачів, що значно прискорює процес створення нових товарів (Verma et al., 2018). Наприклад, такі компанії, як Coca-Cola, використовують AI для розробки нових напоїв, а Impossible Foods вдосконалює рослинні продукти, які мають імітувати традиційні м'ясні вироби.

Однією з ключових сфер інновацій є використання AI для вивчення того, як споживачі сприймають смак і текстуру продуктів в контексті поживних потреб. Аналізуючи індивідуальні реакції на різні смаки, AI може допомогти створити більш смачні та поживні продукти, орієнтуючись на конкретні групи населення, наприклад, літніх людей або людей із зниженою смаковою чутливістю. Це свідчить про стратегічний перехід до так званої поведінкової нутриціології, коли рекомендації є не лише корисними для здоров’я, але й задовольняють смакові уподобання, що є важливим для формування стійкої звички до здорового харчування.

Як вже було зазначено вище, штучний інтелект має величезний потенціал для зміни підходів до управління хронічними захворюваннями, такими як ожиріння та діабет 2 типу. Завдяки своїй спроможності створювати масштабовані та науково обґрунтовані рішення, AI може допомогти пацієнтам краще дотримуватись дієтичних планів і підвищити їх рівень обізнаності про здоров'я.

Прототипи систем, які надають персоналізовані дієтичні рекомендації для пацієнтів з ожирінням та діабетом, показали обнадійливі результати, особливо в контрольованих умовах. Наприклад, у дослідженнях Rafie et al. (2025) показано, що система досягла 80,1% дотримання цільових показників здоров'я, включаючи норми щодо калорійності, волокон та жирів. Вона також продемонструвала високу відповідність екологічним критеріям, досягнувши 92% дотримання вимог щодо використання сезонних та місцевих інгредієнтів. Ці результати свідчать про те, що AI може забезпечувати точні мікро-втручання. Проте основним викликом залишається довести ефективність таких систем у реальному житті з більшою варіативністю умов. Створення зручного зв'язку між ідеями AI та процесами клінічного управління стане визначальним етапом для подальшого розвитку.

Незважаючи на обнадійливі перспективи, клінічна ефективність та вплив AI-систем у реальному житті ще не цілком зрозумілі. Основними перешкодами для їх ширшого впровадження можуть бути значні відмінності в алгоритмах AI та розмірі вибірок, що ускладнює аналіз та узагальнення результатів, та необхідність адаптації до різних груп населення.

Для безпечного та справедливого впровадження AI в медичну практику майбутні дослідження повинні дотримуватись кількох важливих принципів:

1. потрібні систематичні, довгострокові клінічні випробування, щоб оцінити постійну прихильність пацієнтів і стабільність клінічних результатів;
2. дослідження мають зосереджуватись на тестуванні в умовах реального життя, а не лише в лабораторіях;
3. імплементувати AI-рекомендації в офіційні клінічні настанови, адаптуючи їх під клінічні процеси, платформи телемедицини та публічні ініціативи.

Системи AI повинні переходити від простого прогнозування до реальних дій та інтеграції, тобто має бути вирішено питання впровадження результатів у медичну практику, забезпечуючи постійну адаптацію та практичну значущість для лікарів.

Зважаючи на те, наскільки активну роль бере на себе AI у прийнятті рішень щодо здоров'я, першочерговою стає потреба у прозорості, справедливості та відповідальності щодо цих рішень. Про це акцентовано у новітніх дослідженнях, зокрема Fernandes et al. (2023), Yao et al. (2024), Abbas et al. (2025), Andrade-Calle et al. (2025). Наразі виклики щодо впровадження AI можна поділити дві основні групи:

I. **технічні**: нестандартизовані формати даних електронних карток пацієнтів; проблема «пропущених» або «загублених» даних; відсутність загальноприйнятої референтної бази даних щодо характеристик харчових продуктів (таких як EuroFIR або FoodData Central); вимоги стандартизації для клінічної надійності.

II. **етичні/правові** – включають питання захисту особистих даних (конфіденційності); алгоритмічну прозорість; захист прав пацієнтів; лікарську відповідальність за наслідки рішень AI та право пацієнта на роз’яснення автоматизованого рішення.

Щоб встановити довіру до системи штучного інтелекту, потрібно зрозуміти, як вона приймає рішення та формує рекомендації. Якщо цього немає, персоналізація стає малозрозумілою, а лікарі та пацієнти не можуть впевнено покладатися на AI-рекомендації. Тому важливим елементом, який допомагає усвідомити логіку моделі, наразі є так званий Пояснюваний AI (Explainable AI – XAI), що має на меті підвищити рівень довіри у медичних спеціалістів і пацієнтів, роблячи різноманітні нутриціологічні втручання більш зрозумілими та прийнятними.

Пояснюваність системи – це не просто технічний бонус, а ключова вимога для дотримання юридичних і етичних норм. Наприклад, Загальний регламент про захист даних ЄС (GDPR) говорить про право кожної особи на пояснення автоматизованих рішень (SAP Global AI Ethics Policy, 2025). Крім того, важливими етичними питаннями є прозорість алгоритмів, захист приватності та запобігання дискримінації.

Для досягнення прозорості в системах AI застосовуються різноманітні методи XAI:

- Пост-фактум пояснення: аналізують внесок окремих факторів після прийняття рішення. Прикладами є аддитивні пояснення Шеплі (Shapley Additive Explanations – SHAP) та локальні інтерпретовані пояснення, незалежні від моделі (Local Interpretable Model-agnostic Explanations – LIME). SHAP може давати як локальні пояснення (чому саме цей пацієнт отримав цю рекомендацію?), так і глобальні (які фактори найбільше впливають на модель в цілому?).
- Інтерпретовані моделі: наприклад, метод «Chain of Thought» («ланцюг роздумів») розробляє моделі, які природно пояснюють свої дії, поділяючи їх на логічні етапи.
- Розширені методи: пропонують фактичні пояснення і виявлення причинно-наслідкових зв'язків, а не тільки простих кореляцій. Ці підходи нагадують клінічне мислення.

Впровадження систем підтримки клінічних рішень, які використовують XAI, є важливим для індивідуалізованої медицини. У нутриціології XAI виступає не тільки як інструмент пояснення, але й як критично важливий механізм для підвищення прихильності та довіри пацієнтів. Наприклад, у догляді за хронічними захворюваннями, такими як діабет, XAI може аналізувати дані з носимих пристроїв і електронних медичних записів у реальному часі (Wang et al., 2020; Rafie et al., 2025). З використанням SHAP система може пояснити пацієнту чи лікарю, що підвищення рівня глюкози сталося не через дієту, а через недосип або стрес. Це не тільки підвищує довіру до системи, але й навчає користувачів розуміти, які фактори впливають на їхнє здоров’я, що веде до кращих результатів лікування.

В роботі Gavai and van Hillegersberg, (2025) в прототипі системи рекомендацій XAI описано використання метода генерації з доповненням пошуком (Retrieval-Augmented Generation – RAG) з метою для покращення залучення користувачів, надаючи зрозумілі пояснення переваг різних інгредієнтів та інтерактивні можливості. Це дозволяє перетворити складні нутриціологічні рекомендації на прості та зрозумілі інструкції, підвищуючи обізнаність користувачів про своє здоров'я.

На рівні державного регулювання, в тому числі в системі охорони здоров'я, наразі впроваджують вищий рівень в системі етичних і юридичних стандартів – Відповідальний AI (Responsible AI – RAI). Це комплексна стратегічно-регуляторна методологія, яка гарантує, що розробка та впровадження алгоритмів штучного інтелекту є безпечними, прозорими, справедливими, захищають приватність персональних і медичних даних та чітко визначають межі юридичної відповідальності фахівців. На відміну від Пояснювального AI, тобто технології, яка пояснює дії алгоритму (наприклад, «модель рекомендує цю дієту, бо у пацієнта підвищений HbA1c»), Відповідальний AI – це система правил та принципів, яка гарантує, що вся система працює етично: наприклад, персональні дані пацієнта надійно захищені, алгоритм тестувався на різних групах населення, а остаточне рішення та відповідальність лежать на лікареві.

Ефективне та етичне впровадження RAI вимагає створення прозорих політичних рамок і регуляторних структур. Важливо, щоб різні сектори працювали разом для стандартизації практик використання AI, що може посилити довіру суспільства до цифрових медичних рішень. Концепція Відповідального AI підкреслює, що етика, відповідальність і довіра стосуються не лише технологій, а й людей, які їх розробляють, впроваджують і використовують. Тому політика повинна враховувати питання алгоритмічної справедливості, прозорості та клінічної перевірки інструментів штучного інтелекту. Урядові органи повинні грати важливу роль у фінансуванні та підтримці міждисциплінарних досліджень, аби забезпечити ефективні стандарти і уникнути неконтрольованого або упередженого впровадження технологій (Chudyk, 2024).

Перспективи персоналізованої нутриціології в значній мірі залежать від подальшого розвитку мультимодальних моделей та генеративного AI штучного інтелекту (Brankovic and Hendrie, 2025; Panayotova, 2025; Wang et al., 2025). Генеративний AI, як показав прототип на основі моделі Large Language Model Meta AI 3 (LLaMA3) (Yao et al., 2024), може динамічно створювати й удосконалювати рецепти та плани харчування, адаптуючи їх під особисті потреби користувачів. Застосування методу генерації з доповненням пошуком (Retrieval-Augmented Generation, RAG) дозволяє надавати рекомендації на основі перевірених джерел, наприклад, USDA FoodData Central, що підтримує високі стандарти доказової нутриціології.

У майбутніх дослідженнях основна увага має бути зосереджена на створенні ще більш потужних мультимодальних моделей, які зможуть об'єднувати геномні, дієтичні, метаболічні дані та інформацію про спосіб життя в одному комплексному форматі. Це вдосконалення дозволить AI формувати більш точні, персоналізовані та корисні дієтичні рекомендації.

ВИСНОВКИ. Основні підходи, результати та рекомендації щодо впровадження персоналізованої нутриціології на основі новітніх технологій AI можна сформулювати наступним чином.

У моделі Персоналізованої нутриціології індивідуалізовані підходи до дієти базуються на детальному аналізі генетичних, фенотипічних та поведінкових даних конкретного індивіда, що дозволяє створювати більш ефективні та релевантні рекомендації. Використання штучного інтелекту та Big Data дає змогу професіоналам у сфері харчування аналізувати велику кількість даних у реальному часі, адаптуючи дієтичні рекомендації відповідно до змін у здоров'ї та поведінці пацієнтів.

Аналіз технічних можливостей і регуляторних викликів вказує на необхідність стратегічних дій для успішного, безпечного і справедливого впровадження AI в галузі персоналізованої нутриціології, а саме:

1. Наразі потрібно розробити і впровадити уніфіковані стандарти даних, які забезпечать сумісність між електронними медичними записами, науковими установами та розробниками AI.

Створення відповідної обчислювальної інфраструктури є критично важливим для забезпечення доступу до надійних даних.

2. Регуляторні наглядові органи повинні вимагати проведення клінічних випробувань інструментів AI в реальних умовах, щоб підтвердити їхню ефективність у довгостроковій перспективі.

3. Розробники повинні використовувати методи Пояснювального AI не лише для відповідності вимогам прозорості, але й для підвищення обізнаності користувачів у сфері здоров'я, що в свою чергу допоможе підвищити рівень їхньої довіри до дієтичних рекомендацій.

4. Необхідно встановити чіткі регуляторні рамки для управління етичними питаннями, такими як конфіденційність, упередженість алгоритмів і відповідальність за рішення, прийняті AI, в межах концепції Відповідального AI.

Зміна фокусу від простого прогнозування до плавної інтеграції AI в клінічні процеси є ключем до зменшення відсотку складних хронічних захворювань і трансформації індивідуальної дієтичної підтримки.

Подяки. Немає.

Конфлікт інтересів. Немає.

References

Abbas, Q., Jeong, W., & Lee, S. W. (2025). Explainable AI in Clinical Decision Support Systems: A Meta-Analysis of Methods, Applications, and Usability Challenges. *Healthcare*, *13*(17), 2154. https://doi.org/10.3390/healthcare13172154

Agrawal, K., Goktas, P., Kumar, N., & Leung, M.-F. (2025). Artificial intelligence in personalized nutrition and food manufacturing: A comprehensive review of methods, applications, and future directions. *Frontiers in Nutrition*, *12*, Article 1636980. https://doi.org/10.3389/fnut.2025.1636980

Andrade-Calle, R., de la Torre-Díez, I., & de Luis-Román, D. (2025). Predictive Modeling of Weight Loss and Metabolic Health Outcomes: A Retrospective Predictive Modeling Study. *Health Science Reports*, *8*(10), e71236. https://doi.org/10.1002/hsr2.71236

Brankovic, A., & Hendrie, G. A. (2025). Perspectives, challenges and future of artificial intelligence in personalised nutrition research. *Proceedings of the Nutrition Society*, *84*(4), 1–9. https://doi.org/10.1017/S0029665125100657

Chotwanvirat, P., Prachansuwan, A., Sridonpai, P., & Kriengsinyos, W. (2024). Advancements in Using AI for Dietary Assessment Based on Food Images: Scoping Review. *Journal of Medical Internet Research*, *26*, e51432. https://doi.org/10.2196/51432

Chudyk, N. (2024). Ethical and legal aspects of artificial intelligence systems implementation: Balancing technological progress and fundamental human rights in the context of society's digital transformation. *Actual Problems of Law*, *3*, 42–47. https://doi.org/10.35774/app2024.03.042

Detopoulou, P., Voulgaridou, G., Moschos, P., & Papadopoulou, S. K. (2023). Artificial intelligence, nutrition, and ethical issues: A mini-review. *Clinical Nutrition Open Science*, *50*, Article 100570. https://doi.org/10.1016/j.nutos.2023.07.001

EuroFIR. (n.d.). Retrieved November 11, 2025, from https://www.eurofir.org/

Fernandes, G. J., Choi, A., Schauer, J. M., Pfammatter, A. F., Spring, B. J., Darwiche, A., & Alshurafa, N. I. (2023). An Explainable Artificial Intelligence Software Tool for Weight Management Experts (PRIMO): Mixed Methods Study. *Journal of Medical Internet Research*, *25*, e42047. https://doi.org/10.2196/42047

Fonseca, D. C., Fernandes, G. da R., & Waitzberg, D. L. (2025). Artificial intelligence and human microbiome: A brief narrative review. *Clinical Nutrition Open Science*, *59*, 134–142. https://doi.org/10.1016/j.nutos.2024.12.009

FoodData Central. USDA's comprehensive source of food composition data with multiple distinct data types. (n.d.) Retrieved November 11, 2025, from https://fdc.nal.usda.gov/

Gaiduchek, D., Kryvoplias-Volodina, L., Kostin, V., Burova, Z., & Zaporozhets, O. (2025). Synthesis of an analytical system prototype using MQTT and AWS in the Industry 4.0 context. *CEUR Workshop Proceedings*, *4146*, 487–497. https://www.scopus.com/pages/publications/105037230065?origin=resultslist

Gavai, A. K., & van Hillegersberg, J. (2025). AI-driven personalized nutrition: RAG-based digital health solution for obesity and type 2 diabetes. *PLOS Digital Health*, *4*(5), e0000758. https://doi.org/10.1371/journal.pdig.0000758

Li, Z., Wu, W., & Kang, H. (2024). Machine Learning-Driven Metabolic Syndrome Prediction: An International Cohort Validation Study. *Healthcare*, *12*(24), 2527. https://doi.org/10.3390/healthcare12242527

Liu, D., Zuo, E., Wang, D., He, L., Dong, L., & Lu, X. (2025). Deep Learning in Food Image Recognition: A Comprehensive Review. *Applied Sciences*, *15*(14), 7626. https://doi.org/10.3390/app15147626

Mansouri, M., Benabdellah Chaouni, S., Jai Andaloussi, S., & El Aachak, O. (2023). Deep Learning for Food Image Recognition and Nutrition Analysis Towards Chronic Diseases Monitoring: A Systematic Review. *SN Computer Science*, *4*(513). https://doi.org/10.1007/s42979-023-01972-1

Martynchuk, O., Bal-Prylypko, L., Shvets, O., & Altanova, A. (2025). Potential applicationts of artificial intelligence in nutrition science. *Human and Nation's Health*, *3*(1), 100–125. https://doi.org/10.31548/humanhealth.1.2025.100

Panayotova, G. G. (2025). Artificial Intelligence in Nutrition and Dietetics: A Comprehensive Review of Current Research. *Healthcare*, *13*(20), 2579. https://doi.org/10.3390/healthcare13202579

Rafie, Z., Talab, M. S., Koor, B. E. Z., Garavand, A., Salehnasab, C., & Ghaderzadeh, M. (2025). Leveraging XGBoost and explainable AI for accurate prediction of type 2 diabetes. *BMC Public Health*, *25*(1), Article 3688. https://doi.org/10.1186/s12889-025-24953-w

Romero-Tapiador, S., Lacruz-Pleguezuelos, B., Tolosana, R., Freixer, G., et al. (2023). AI4FoodDB: A database for personalized e-Health nutrition and lifestyle through wearable devices and artificial intelligence. *Database: The Journal of Biological Databases and Curation*, *2023*, baad049. https://doi.org/10.1093/database/baad049

SAP. (n.d.). How to implement responsible AI practices. Retrieved November 11, 2025, from https://www.sap.com/ukraine/products/artificial-intelligence/ai-ethics.html

Verma, M., Hontecillas, R., Tubau-Juni, N., Abedi, V., & Bassaganya-Riera, J. (2018). Challenges in Personalized Nutrition and Health. *Frontiers in Nutrition*, *5*, Article 117. https://doi.org/10.3389/fnut.2018.00117

Wang, L., Wang, X., Chen, A., Jin, X., & Che, H. (2020). Prediction of Type 2 Diabetes Risk and Its Effect Evaluation Based on the XGBoost Model. *Healthcare*, *8*(3), 247. https://doi.org/10.3390/healthcare8030247

Wang, X., Sun, Z., Xue, H., & An, R. (2025). Artificial Intelligence Applications to Personalized Dietary Recommendations: A Systematic Review. *Healthcare*, *13*(12), 1417. https://doi.org/10.3390/healthcare13121417

Wu, X., Oniani, D., Shao, Z., Arciero, P., Sivarajkumar, S., Hilsman, J., Mohr, A. E., Ibe, S., Moharir, M., Li-Jia Li, Jain, R., Chen, J., & Wang, Y. (2025). A Scoping Review of Artificial Intelligence

for Precision Nutrition. *Advances in Nutrition*, *16*(4), 100398. https://doi.org/10.1016/j.advnut.2025.100398

Yang, C. C. (2022). Explainable Artificial Intelligence for Predictive Modeling in Healthcare. *Journal of Healthcare Informatics Research*, *6*, 228–239. https://doi.org/10.1007/s41666-022-00114-1

Yao, Y., Duan, J., Xu, K., Cai, Y., Sun, Z., & Zhang, Y. (2024). A survey on large language model (LLM) security and privacy: The good, the bad, and the ugly. *High-Confidence Computing*, *4*(2), 100211. https://doi.org/10.1016/j.hcc.2024.100211

Zale, A., & Mathioudakis, N. (2022). Machine Learning Models for Inpatient Glucose Prediction. *Current Diabetes Reports*, *22*, 353–364. https://doi.org/10.1007/s11892-022-01477-w

УДК 664.644.5:577.152.3
https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2026.82

ПОТЕНЦІАЛ ЗАСТОСУВАННЯ ЕНЗИМУ ЦЕЛЮЛАЗИ У ХЛІБОПЕКАРСЬКІЙ ГАЛУЗІ

Анастасія Євгенівна Кулаківська
студентка
https://orcid.org/0009-0001-8188-7779
Роксолана Тарасівна Конечна
кандидат фармацефтичних наук, доцент
https://orcid.org/0000-0001-6420-9063
Національний університет Львівська політехніка
79013, Україна, м. Львів, вул. С. Бандери, 13.
Олена Іванівна Вічко
кандидат технічних наук, доцент,
https://orcid.org/0000-0002-5440-548X
Ірина Степанівна Назарко
кандидат педагогічних наук, доцент
https://orcid.org/0000-0001-6961-0091
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя,
46001, Україна, м. Тернопіль, вул. Руська, 56
Святослав Володимирович Половкович
доктор хімічних наук, професор
https://orcid.org/0000-0002-7143-6931
Національний університет Львівська політехніка
79013, Україна, м. Львів, вул. С. Бандери, 13.

Анотація. Зміна споживчих уподобань українців щодо функціональних та оздоровчих хлібобулочних виробів, поряд із традиційними пшеничними та житніми сортами хліба, стимулює розширення номенклатури продукції. Промислові виробники почали активно збільшувати асортимент та врповаджувати нові рецептури, зокрема некласичних видів хліба – безглютенового, на заквасці, бездріжджового. Одним із пріоритетних напрямків є заміна синтетичних добавок природними компонентами, зокрема ензимними препаратами. Мета даної роботи полягає у систематизації даних літератури щодо перспектив застосування ензиму целюлази для суттєвого підвищення якості хлібобулочних виробів.

У ході дослідження було узагальнено та упорядковано інформацію щодо переваг та перспектив целюлолітичного гідролізу як цілеспрямованого біотехнологічного інструменту для модифікації компонентів клітинної стінки зерна. Основним результатом дослідження є обґрунтування високої ефективності ензиматичного гідролізу целюлози: встановлено, що ензим целюлаза, розщеплючи β-1,4-глікозидні зв'язки у целюлозі, вивільняє пентозани та зв'язану воду, змінюючи реологію продукту. Це позитивно впливає на м'якушку хліба або іншого хлібобулочного виробу та покращує ~~ріст~~ об'єм хліба . Ензиматична обробка пшеничних і вівсяних висівок, доданих до хліба, знижує водопоглинальну здатність тіста, покращує його еластичність та прискорює процес випікання. Застосування целюлази у поєднанні з іншими гідролазами дозволяє досягти оптимальної пористості та покращити органолептичні показники якості хліба. Доведено, що застосування целюлази при виробництві заморожених напівфабрикатів інгібує міграцію молекул води у тісті, зменшуючи негативний вплив кристалів льоду на дріжджові клітини після розморожування.

 Creative Commons Attribution 4.0 International Public License

Практична цінність даної роботи полягає у наданні рекомендації, щодо застосування ензиму целюлази для покращення органолептичних показників хліба. Отримані результати можуть бути застосовані виробниками харчової промисловості у розробці нових рецептур функціональних хлібобулочних виробів з покращеними характеристиками та подовженим терміном зберігання. Впровадження таких біотехнологічних інновацій сприятиме розширенню асортименту функціональних продуктів із «чистою етикеткою». Це забезпечить високу конкурентоспроможність виробів вітчизняної хлібопекарської галузі та повністю задовольнить актуальні запити сучасних споживачів.

Ключові слова: ензим целюлаза, хлібобулочні вироби, целюлоза, висівки, заморожені напівфабрикати хлібобулочних виробів.

UDC 664.644.5:577.152.3
https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2026.82

THE POTENTIAL FOR APPLICATION OF ENZYME CELLULASE IN THE BAKING INDUSTRY

Anastasiia Kulakivska
Student
https://orcid.org/0009-0001-8188-7779
Roksolana Konechna
PhD,, Associate Professor
https://orcid.org/0000-0001-6420-9063
Lviv Polytechnic National University,
79013, Stepan Bandera Street, 12, Lviv, Ukraine
Olena Vichko
PhD, Associate Professor
https://orcid.org/0000-0002-5440-548X
Iryna Nazarko
PhD, Associate Professor
https://orcid.org/0000-0001-6961-0091
Ternopil Ivan Puluj National Technical University,
46001, 56 Ruska Str., Ternopil, Ukraine
Svyatoslav Polovkovych
Doctor of Science, Professor
https://orcid.org/0000-0002-7143-6931
Lviv Polytechnic National University,
79013, Stepan Bandera Street, 12, Lviv, Ukraine

Abstract. The shift in Ukrainian consumer preferences from traditional rye or wheat loaves toward health-promoting, wellness-oriented bakery products has enriched the food market. Industrial manufacturers have begun to actively expand their product range and introduce new recipes, particularly for non-traditional types of bread – gluten-free, sourdough and yeast-free varieties. One of the priority areas is the replacement of synthetic additives with natural ingredients, particularly enzyme-based additives. The aim of this study is to systematise the relevant literature regarding the prospects for the use of the cellulase enzyme to significantly improve the quality of bakery products.

In the course of this study, information on the prospects and advantages of cellulolytic hydrolysis as a targeted biotechnological tool for modifying grain cell wall components was summarised and organised. The key finding of the study is the justification of the high efficiency of cellulolytic hydrolysis: it was established that by cleaving β -1,4-glycosidic bonds in cellulose, the

cellulase enzyme releases pentosans and bound water, thereby altering the rheology of the product. This modification positively affects the crumb structure of bread and other bakery products, increases loaf volume. Furthermore, the enzymatic treatment of wheat and oat bran added to the dough reduces its water absorption capacity, enhances its elasticity, and accelerates the baking process. The application of cellulase in combination with other hydrolases enables the achievement of optimal porosity and improves the organoleptic quality attributes of the bread. It has been demonstrated that the application of cellulase in the production of frozen semi-finished products inhibits the migration of water molecules within the dough, thereby mitigating the negative impact of ice crystals on the yeast and the fermentative activity of yeast cells after thawing.

The practical value of this study lies in providing recommendations on the use of cellulase enzyme in bread production technology to improve its organoleptic quality characteristics. The obtained findings can be applied by food industry manufacturers to develop new formulations for functional bakery products with enhanced characteristics and an extended shelf life. Implementing such biotechnological innovations will facilitate the expansion of the range of "clean label" functional products. This will ensure the high competitiveness of the domestic baking industry and fully satisfy the current demands of modern consumer.

Key words: cellulase enzyme, bakery products, cellulose, bran, frozen semi-finished bakery products.

ВСТУП. Хлібопекарська промисловість є стратегічно важливою складовою харчової промисловості, яка забезпечує населення продуктами щоденного споживання та формує близько 10 % загального обсягу виробництва харчової продукції. Сучасний розвиток галузі характеризується не лише необхідністю забезпечення стабільних обсягів виробництва, а й постійним удосконаленням асортименту та технологій відповідно до змін у споживчих уподобаннях. Зокрема, зростає попит на нетрадиційні та функціональні види хлібобулочних виробів: безглютеновий хліб, вироби на закваскаx, продукцію з підвищеним вмістом харчових волокон, а також хлібобулочні вироби, у технології яких застосовують ензимні препарати, зокрема продукцію лінійок «Вітапам» та «Ензим» українського виробництва (Vakulenko et al., 2024; Enzyme Group).

Зазначені тенденції супроводжуються активним розвитком світового ринку ензимних препаратів для хлібопекарської промисловості. За аналітичними даними, у 2024 році його обсяг оцінювався у 869,1 млн дол. США, а у 2025 році – вже у 916,9 млн дол. США, що відповідає середньорічному темпу зростання близько 5,5 % (Market, 2025). Розширення цього сегмента пов’язане з технологічними перевагами ензимних препаратів, які дають змогу цілеспрямовано регулювати властивості сировини й напівфабрикатів, покращувати структурно-механічні характеристики тіста, стабілізувати перебіг технологічного процесу та забезпечувати необхідні показники якості готових виробів.

Ензими здатні спрямовано змінювати властивості окремих компонентів сировини та традиційно відіграють важливу роль у процесах приготування тіста. Ще до розвитку промислової біотехнології у хлібопеченні використовували закваски, у яких поряд із життєдіяльністю дріжджів і молочнокислих бактерій відбувалися біохімічні перетворення за участю природних ензимів зернової сировини. Сучасні досягнення ензимології, біотехнології та біохімії суттєво розширили можливості застосування ензимів і перетворили їх на ефективний технологічний інструмент для керування процесами формування якості хлібобулочних виробів (Kumar et al., 2024; Putseys et al., 2019).

Особливе місце серед ензимних препаратів, перспективних для хлібопекарської промисловості, займають целюлолітичні ензими – целюлази. Вони є комплексом гідролітичних ензимів, здатних каталізувати розщеплення β-1,4-глікозидних зв’язків у молекулах целюлози. Целюлоза є одним із основних структурних полісахаридів клітинних стінок рослинної сировини та входить до складу оболонкових частин зерна, а тому в різній

кількості присутня у зерновій сировині й продуктах її перероблення, які використовуються у виробництві хлібобулочних виробів (De Souza et al., 2021).

Технологічний ефект застосування целюлаз пов'язаний із модифікацією некрохмальних полісахаридів зернової сировини та зміною функціонально-технологічних властивостей її структурних компонентів. Контрольований ензиматичний гідроліз рослинних клітинних стінок може сприяти вивільненню зв'язаної води та інших компонентів, зміні водопоглинальної здатності борошна, реологічних властивостей тіста та умов формування його структури. Унаслідок цього створюються передумови для більш рівномірного розподілу вологи та компонентів рецептури, оптимізації процесів бродіння і газоутримання та формування необхідних структурно-механічних властивостей тістових напівфабрикатів.

Використання целюлаз має значний потенціал для покращення споживчих і технологічних характеристик хлібобулочних виробів. За раціонально підібраних дозувань та умов ензиматичної дії їх застосування може сприяти збільшенню питомого об'єму хліба, формуванню більш розвиненої та рівномірної пористості м'якушки, покращенню її текстури та загальної якості готових виробів (Askari et al., 2025). Водночас ефективність целюлолітичних ензимів визначається їх активністю, дозуванням, властивостями борошна, рецептурним складом виробу, тривалістю ферментації та температурно-вологісними умовами технологічного процесу. Надмірний ступінь гідролізу структурних полісахаридів, навпаки, може негативно впливати на консистенцію тіста, що обґрунтовує необхідність наукового визначення раціональних параметрів застосування таких препаратів.

Застосування целюлаз у технології борошняних і хлібобулочних виробів може здійснюватися за декількома основними напрямами: безпосереднє внесення ензимного препарату для регулювання властивостей тіста та покращення якості виробів із пшеничного борошна; попередня ензиматична модифікація рослинної сировини й функціональних добавок; підвищення технологічної стабільності тістових напівфабрикатів; а також покращення збереження їх структурних властивостей під час заморожування, низькотемпературного зберігання та подальшого розморожування.

Таким чином, використання целюлолітичних ензимів є перспективним напрямом удосконалення технологій хлібобулочних виробів. Їх застосування дає можливість цілеспрямовано впливати на структурні компоненти зернової сировини та регулювати властивості тістових напівфабрикатів і готової продукції. Водночас технологічний результат значною мірою залежить від виду й активності ензимного препарату, його дозування та параметрів технологічного процесу. Це зумовлює актуальність досліджень, спрямованих на встановлення закономірностей впливу целюлаз на властивості сировини, перебіг технологічних процесів та формування показників якості хлібобулочних виробів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Дослідження ґрунтувалося на систематизованому аналізі, критичному опрацюванні та узагальненні наукових публікацій, присвячених застосуванню целюлолітичних ензимів у технології хлібобулочних і борошняних виробів. Інформаційну базу дослідження сформували релевантні наукові праці, опубліковані переважно протягом останніх десяти років (2015–2025 рр.) та представлені в Google Scholar, Scopus і на платформі Taylor & Francis. Додатково було проаналізовано чинні нормативно-правові документи Європейського Союзу, що регламентують використання харчових ензимів, їх безпечність та умови застосування у виробництві харчових продуктів.

Для забезпечення максимально повного охоплення наукових публікацій пошук здійснювали англійською та українською мовами із застосуванням ключових слів і їх комбінацій: «enzyme cellulase in baking», «enzyme cellulase in bread», «enzyme cellulase in cookies», «ензим целюлаза у хлібопеченні», «целюлаза у виробництві хліба», «застосування целюлази у хлібобулочних виробах». Під час відбору джерел враховували відповідність публікації тематиці дослідження, наявність опису методики експерименту та кількісних або

якісних даних щодо впливу целюлаз на технологічні властивості сировини й напівфабрикатів та показники якості готових виробів.

Основним критерієм включення публікацій до поглибленого аналізу була наявність експериментальних даних щодо впливу целюлолітичних ензимів на властивості тіста та/або хлібобулочних і борошняних виробів. Особливу увагу приділяли дослідженням, у яких оцінювали реологічні та структурно-механічні властивості тіста, питомий об'єм і пористість виробів, текстурні характеристики м'якушки, органолептичні показники, а також зміни якості продукції під час зберігання.

Із подальшого аналізу виключали публікації, які не стосувалися використання целюлаз у технології борошняних і хлібобулочних виробів, не містили достатнього опису експериментальних умов або результатів, а також дублікати матеріалів, виявлені в різних інформаційних ресурсах. Нормативні документи та окремі фундаментальні праці використовували незалежно від установленого часового діапазону, якщо вони мали принципове значення для характеристики механізму дії, безпечності або нормативного регулювання харчових ензимів.

За результатами пошуку, первинного скринінгу та оцінювання відповідності визначеним критеріям було відібрано й детально проаналізовано понад 30 наукових та нормативних джерел. Отриману інформацію систематизували за напрямами застосування целюлаз, видом борошняної сировини, характеристиками ензимних препаратів, умовами їх використання та встановленими ефектами щодо технологічних властивостей тіста і показників якості готових виробів. На основі порівняльного аналізу узагальнено сучасні підходи до використання целюлаз у хлібопеченні, визначено основні технологічні ефекти їх застосування та окреслено перспективні напрями подальших досліджень.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Основою будь-якого хлібобулочного виробу є борошно із зерна, яке багате на харчові волокна: нерозчинні (целюлоза, деякі геміцелюлози та лігнін) та розчинні (пектин та камеді). Нерозчинні харчові волокна позитивно впливають на функції товстого кишківника, тоді як розчинні харчові волокна знижують рівень холестерину в сироватці крові, зв'язуючись з жовчними кислотами, а також мають пребіотичну та гіпоглікемічну дію.

Оскільки злаки мають дуже високу частку нерозчинних харчових волокон і відносно низьку частку розчинних харчових волокон, то зміна їх співвідношення за допомогою фізичних, хімічних і біологічних чинників була досліджена такими методами як автоклавування, бланшування, екструзія та ензиматичний каталіз (Yoon et al., 2022). При цьому ензиматичний гідроліз целюлазою має високий потенціал для застосування, оскільки целюлоза є найпоширенішим полісахаридом у рослинах.

1. Перспективи використання целюлолітичного гідролізу у хлібопекарстві.

Практика застосування ензимів у хлібопеченні включає використання ендогенних ензимів у борошні (зерні), ензимів доданих мікроорганізмів, наприклад *Saccharomyces cerevisiae*, екзогенних готових ензимних препаратів (Ozatay et al., 2020). Перші два пункти висвітлюють використання біотехнології ензимів ще в доісторичний період, а третій пункт описує оновлення рецептур хлібобулочних виробів шляхом додавання ензимів, що вже давно застосовуються (наприклад, додатково вносять бактеріальну чи грибкову α-амілазу і нових ензиматичних препаратів. Одними з перших робіт у даному напрямку були стаття 1948 р. журналу «Хімія зернових», що стосувалася додавання до випічки α-амілази, отриманої із *Aspergillus oryzae* – Дж. А. Джонсон, Б. С. Мілер «Високі рівні альфа-амілази у пекарстві. І. Визначення ефекту альфа-амілази з різних джерел» (Jonson et al., 1948) та дисертація одного з авторів на здобуття доктора філософії Мілера Б. С. «Вплив високої концентрації певних ензимів на випічку» 1948 р.

Сучасний біотехнологічний процес ензиматичного каталізу у хлібобулочній продукції має ряд переваг над традиційними хімічними добавками: зменшення використання токсичних реагентів і, відповідно, менший вплив на довкілля; їх можна безпечно додавати безпосередньо до харчових продуктів, оскільки після випікання ензими стають інактивованими білками; вони покращують функціональність продуктів, наприклад, текстуру та зовнішній вигляд; сприяють підвищенню поживної цінності, терміну зберігання та безпеки харчових продуктів, а також дозволяють створювати нові продукти для збільшення комерційної пропозиції (De Souza et al., 2021).

Недоліками додавання ензиму є зміна амінокислотного та протеїнового складу продукту, а також спричинення алергічної реакції у споживачів. Тому про це варто зазначати на упаковці (Chowdhury et al., 2024).

Ензим целюлаза або целюлолітичний гідроліз, який був відкритий у 1950-х роках, використовується порівняно нещодавно у хлібопеченні, що описано в одному з перших патентів за даною тематикою: US5108765A «Склад для покращення властивостей тіста та спосіб його використання» (1989 р.).

Основною перспективою до використання саме целюлази та целюлолітичного гідролізу ~~це~~ є зміни в кількості нерозчинних волокон після ензиматичного оброблення, що покращує якість виробів та тіста. Целюлази у складі продукту як при додаванні тільки даного ензиму, так і в суміші з іншими гідролітичними ензимами (амілаза, протеаза та ксиланаза, тощо) збільшують об’єм виробу, покращують якість хліба та призводять до утворення ~~пухкішої~~ пористішої м'якушки (Sharma et al., 2016).

Далі охарактеризуємо целюлазу як унікальний комплексний ензим, його механізм гідролізу у хлібобулочних виробах.

2. Характеристика типових целюлаз, які використовують у хлібопекарстві: характеристика, механізм дії.

Целюлази гідролізують целюлозні мікрофібрили зерна, в результаті чого вивільняється глюкоза, олігосахариди та целобіоза, що покращує властивості тіста під час обробки. Оскільки целюлази діють на ~~пентозани та~~ целюлозні волокна, присутні в житньому та пшеничному борошні, тісто стає м'яким та знижується його водопоглинальна здатність, що скорочує час випікання (рис.1).

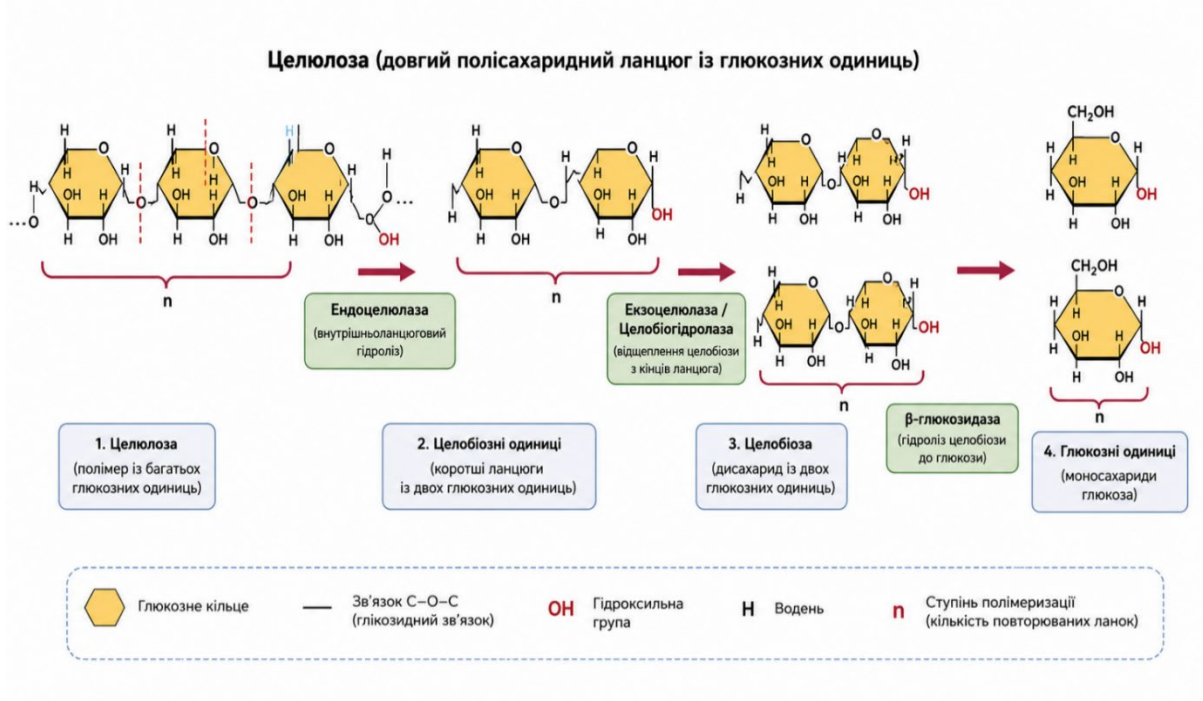

Рисунок 1. Механізм дії целюлази (ендоцелюлази, екзоцелюлази та β-глюкозидази), що розкладає целюлозу до моносахариду глюкози (Dahiya et al., 2020).

Целюлази – ензими класу гідролаз, які поступово гідролізують β-1,4-глікозидні зв'язки полісахариду целюлози. Даний ензим включає три основних компоненти: β-1,4-ендоглюканаза (EC 3.2.1.4), целобіогідролаза або екзоглюканаза (EC 3.2.1.91, β-1,4-D-глюканцелобіогідролаза), β-глюкозидаза або целобіаза (EC 3.2.1.21) (Ejaz et al., 2021).

Пентозани – це невеликі компоненти пшеничного борошна, які відіграють вирішальну роль у реології тіста та якості хліба завдяки своїй здатності зв'язувати воду. Розчинні пентозани беруть участь у формуванні еластичності тіста, а ензиматична модифікація нерозчинних у воді пентозанів сприяє змінам реології (Dahiya et al., 2020).

Розглянемо вимоги до продуцентів ензимних препаратів для харчової промисловості.

3. Продуценти, що безпечні для синтезу харчового ензиму целюлази.

Харчова промисловість має ряд обмежень у виборі продуценту для синтезу целюлази та ряд вимог до самого ензиму, на відміну від інших галузей застосування. Зокрема, Офіційні документи Європейського союзу («Робочий документ ЄС про харчові процеси, в яких використовуються харчові ензими») схвалюють використання ензиму целюлази та ряду інших ензимів у виробництві борошняних виробів при зазначенні цього у складі продукту; даний продукт є безпечним при вживанні та відповідає технологічній потребі (Register of food enzymes, 2024). Щодо продуценту, то Регламенти (ЄС) зазначають такі вимоги до мікроорганізмів, що синтезують ензими: культура має бути ідентифікованою за сучасною номенклатурою та описана методика отримання даного організму (для бактерій – на основі послідовностей повного геному (WGS), для цвілевих грибів – філогеномний аналіз з порівнянням із доступними спорідненими геномами та альтернативно ідентифікують за порівняння гена 18S рРНК, тощо); для продуценту бактерії має бути проведений аналіз на чутливість до антимікробних препаратів; необхідний аналіз безпечності використання (токсичність, патогенність) (Kocabas et al., 2019; Silano et al., 2019; Commission regulation (EU), 2011). І останнім важливим пунктом є визнання генетичної чистоти продуценту, оскільки як Україна, так і ЄС встановлюють обмеження на ГМО. Українське законодавство встановлює обмеження у 0,9 % на ГМО (Law of Ukraine, 2025).

Ключовими промисловими продуцентами целюлази є бактерії та гриби, причому гриби є кращими продуцентами ензимів завдяки синтезу екзоензимів, тоді як бактеріальні целюлази мають розширений оптимум дії. Регламент ЄС щодо ензимів схвалив використання целюлаз, синтезованих цвілевими грибами *Aspergillus niger, Humicola insolens, Penicillium funiculosum, Trichoderma reesei, Disporotrichum dimorphosporum, Penicillium multicolor, Talaromyces emersonii, Talaromyces versatilis, Talaromyces cellulolyticus* або *Talaromyces pinophilus* та бактеріями *Bacillus subtilis, Cellulosimicrobium cellulans* (Register of food enzymes, 2020).

4. Стратегії використання ензиму целюлази ~~при~~ у хлібопекарстві.

Целюлази використовуються у тісті для забезпечення кращої текстури та якості. Як було зазначено вище, ензим целюлаза вивільняє водоутримувальні пентозани, що покращує еластичність тіста (De Souza et al., 2021). Аналіз літератури дозволяє виділити три основні напрямки застосування целюлази, які відрізняються за видом продукції та технологічними завданнями.

Першим напрямком є використання целюлаз різного походження у виробництві борошняних виробів в поєднанні з іншими ензимами.

Критичним моментом технологічного процесу є забезпечення стабільності ензимів, оскільки дозрівання тіста зазвичай протікає у кислому середовищі. У цьому контексті науковий інтерес становлять результати, отримані вченими з Університету Марварді та Коледжу Христа (Індія), які успішно ізолювали термо- та кислотостійку ендогенну целюлазу з *Bacillus licheniformis* з оптимумом дії при pH 4,0. Авторами доведено, що ~~тривала~~ інкубація впродовж 2 та 24 год при 30 С даного ензиму, внесеного до складу дріжджового тіста, дозволяє знижувати його клейкість, а також зменшує твердість пшеничного хліба (Chauhan et al., 2023).

Ефект зниження твердості та покращення пористості за рахунок гідролізу структурних полісахаридів корелює з висновками української команди вчених з Харківського державного університету харчування та торгівлі. На відміну від використання монопрепаратів, вітчизняні вчені комбінували Целюлад (целюлаза; виробник «Ензим», Україна), Ксилолад (ксилиназа) і Глюкооксидазу, що поліпшило органолептичні (стан м'якушки, колір скоринки, форма) та фізико-хімічні властивості: вологість зросла з 45,2 % до 46,0 %; питомий об'єм з 1,9 см^3/г до 2,6 см^3/г, а пористість з 57 % досягла 63 %. При цьому спостерігалося закономірне зниження кислотності з 3,8 до 2,9 (Oliynyk et al., 2016).

Вчені Хенанського технологічного університету вивчали і детально охарактеризували вплив целюлази на зміну властивостей цільнозернового борошна. Воно багатше на вуглеводи, білки, ліпіди, клітковину, мінерали, вітаміни, каротиноїди та фенольні сполуки порівняно із рафінованим пшеничним борошном. Поєднання ензиму целюлази (Cel) та пентазани (Pn) (виробник ензимів Novozymes Biotechnology Co., Ltd, Тяньцзінь, Китай) та лактобактерій (*Lactobacillus brevis* – Lbr; *L. plantarum* – Lpl) змінило реологічні властивості тіста: зразок тіста оброблений Lpl -Cel/Pn (60,6) мав нижчий коефіцієнт утримання газу, ніж тісто оброблене Lbr -Cel/Pn (62,0), що може бути пов'язано з вивільненням антиоксидантів, таких як феноли та активні пептиди. При впливі цих ензимів ультрадисперсні клітини пшеничних висівок руйнуються, активні речовини вивільняються, а структура крохмально-глютенової ~~мережі~~ сітки руйнується, що призводить до розширення газу в певному напрямку та впливає на утримання газу. Динамічні реологічні властивості тіста, напруга на розтяг з комбінацією ензимів теж покращилися (Liang et al., 2024).

Перспективи інтенсифікації дії ензимних препаратів за допомогою фізичної модифікації детально розкрито у роботі, здійсненій в Люблінському університеті наук про життя. Авторами встановлено, що суха фізична обробка у комбінації з ензимним комплексом ксилинази (VERON 292, AB Enzymes GmbH) і целюлази (Bakezyme, WholeGain DSM Food Specialties BV, Делфт, Нідерланди) підвищує стійкість тіста до замішування завдяки стабілізації структури білка та суттєво збільшує фракцію розчинних арабіноксиланів, які виконують струтуроутворюючу функцію. Водночас виявлено обмеження у застосуванні інтенсивної обробки гідротермальними та екструзійними методами, що негативно впливає на якість білкових фракцій, але суттєво змінює гелеутворюючі властивості, незалежно від того, чи проводилася вона без ензимів, чи з ними. Вчені виокремили екструзію, як потенційний метод обробки борошна, що може надати йому властивостей схожих до модифікованого крохмалю або гідроколоїдів (Lewko et al., 2024).

Другим ~~аспектом~~ напрямком є використання ензиму целюлази у хлібобулочних продуктах, збагачених функціональними добавками. Протягом останнього десятиліття зросла популярність на функціональні продукти, серед яких хліб з висівками, оскільки такий продукт збагачується харчовими волокнами з β-глюканами (високорозчинна у воді клітковина, яка може легко утворювати в'язкі розчини та позитивно впливає на шлунково-кишковий тракт).

Аналіз літератури вказує на обмежену технологічну ефективність застосування одного ензимного препарату в складних матрицях. Зокрема, використання виключно целюлази (ензимний препарат Cellulast BG 3.2.1.4, виробник Novozymes, Австралія) у дослідженнях хліба з вівсяними висівками, проведених дослідниками Університету Чонджінг технологій та бізнесу (Китай) та Університету Лінкольна (Нова Зеландія), Школи науки (Австралія) зменшило водопоглинання, розм'якшення та стабільність, стійкість до розтягування, але не змінило властивостей доданих висівок. Значно вищу ефективність демонструє синергетична дія мультиензимних комплексів, що підтверджується дослідженнями під керівництвом Лю В. Авторами підтверджено, що ензими - целюлаза, амілаза (Fungamyl 2500 SG, EC 3.2.1.1) та ксилиназа (Pentopan Mono BG, EC 3.2.1.8) у ~~комбінації~~ поєднанні покращують водопоглинання, розтяжність, стійкість до замішування, липкість тіста для китайського парового хліба з пшеничними висівками у концентраціях: α-амілаза – 6 ppm, ксилиназа – 120

ppm, целюлаза - 60 ppm (Liu et al., 2017). Відповідно у подальших дослідженнях було підтверджено, що дана група також позитивно впливає на тісто для хліба з вівсяними висівками та пшеничні висівки, оскільки при цьому йде вплив як на целюлозу, так і на крохмаль і ксилани (Liu, Brennan, Tu, Brennan et al., 2023; Liu, Brennan, Brennan, et al., 2023).

Подібний ефект спостерігається і при використанні нетрадиційних видів борошна, які зазвичай порушують структуру глютенового каркасу. Дослідження показують, що внесення целюлази до тіста з гречаним борошном дозволяє коригувати його реологію: знижується поглинання води з 65,07 % до 62,43 %; тривалість обробки з 7,12 хв до 6,23 хв; стабільність з 8,73 хв до 5,03 хв; липкість з 77,59 г до 52,93 г та підвищується м'якість з 53,37 ~~ФЮ~~ до 90,46 о.ф. ~~ФЮ~~, а також зростає толерантність до замішування (Liu, Brennan, Tu, Brennan, Huang et al., 2023). Аналогічні результати були отримані вченими Шандунського технологічного університету (Китай) і для печива з картопляним борошном, де додавання ензиму целюлази у концентрації 0,2 % покращило взаємодію між глютеном картопляного борошна, що у підсумку підвищило хрусткість, розсипчастість печива (Liu, et al., 2024).

Варто окремо виділити інший технологічний підхід, при якому ензимом обробляють не тісто, а безпосередньо добавку перед її внесенням. В'єтнамські вчені застосували ензим пектиназу з додатковою целюлолітичною активністю (Viscozyme Cassava C, Novozymes Inc., Баґсверд, Данія) для обробки пшеничних висівок, що додавали до печива. Ензиматичний гідроліз (концентрація целюлази 9 Од/г, час інкубації при 28 °C – 120 хв) знизив відношення кількості нерозчинних у воді харчових волокон до розчинних до значення 42%, завдяки чому зменшилася твердість печива, підвищило його сенсорну оцінку (Nguyen et al., 2021). Цей метод також є дієвим для підвищення загальної сенсорної оцінки печива при додаванні ензиматично обробленого листя чаю, що описано дослідниками Технологічного університету Хошимін та В'єтнамського національного університету (В'єтнам). Вони ензиму целюлазою (Cellulast 1.5 L, ендоглюканазна активність 80 Од/мл, Novozymes Inc., Баґсверд, Данія) модифікували відпрацьоване листя чаю за наступних оптимальних умов: концентрація целюлази 20 Од/г, тривалість 1,5 год. Дана обробка збільшила частку розчинної харчової клітковини на 144,5% порівняно з контролем. Однак автори підкреслюють, що кількість такої добавки слід обмежувати (оптимально на рівні 20%), щоб зберегти текстурні та смакові властивості (Nguyen et al., 2022).

Перспективним напрямком є використання ензиму для заморожених хлібобулочних напівфабрикатів. Заморожування тіста дозволяє продовжити термін його зберігання та стандартизувати процес у невеликих пекарнях. Проте цей процес зазвичай погіршує механічні властивості напівфабрикату та знижує активність дріжджів. Дослідження свідчать, що додавання ензиму допомагає ефективно нівелювати ці негативні наслідки. Зокрема, застосування целюлази (EC 3.2.1.4, Cellulast BG) дозволило помітно покращити сенсорні та якісні показники готового хліба порівняно з контрольними зразками. Під час органолептичного оцінювання зразки, оброблені ензимом, отримали 15 балів, а контроль – 10. Крім того, висота готових виробів зросла на 19,7%, що вказує на підвищення активності бродіння. Водночас автори виявили цікаву закономірність у газоутворювальній активності тіста: у перший тиждень зберігання об'єм газу був вищим порівняно з контролем, тоді як після чотирьох тижнів об'єм зменшувався через утворення кристалів льоду, що спричиняло пошкодження клітин дріжджів. Дані термодинамічного аналізу підтвердили, додавання ензиму зменшує кількість замороженої вологи (Wang et al., 2017).

Детальніше механізми утримання вологи у тісті було досліджено у праці Фу та ін. Автори проаналізували синергічний ефект від поєднання закваски та ензиму целюлази Sternzym C 29018 (активність 3200 мкг/г, Stern Ingredients Co.,Ltd, Сучжоу, Китай) у технології заморожених парових булочок, які піддавалися циклічному заморожуванню і розморожуванню. Така комбінація забезпечила підвищення питомого об'єму виробу, покращення текстури, а також сприяла інтенсивному накопиченню відновлювальних цукрів і водорозчинних полісахаридів. Аналіз за допомогою ядерномагнітного резонансу (LF-NMR) у

низькому полі підкреслив, що целюлаза у тісті пригнічує міграцію води, збільшуючи частку ~~щільно~~ міцно зв'язаної води та зменшуючи кількість вільної води під час температурних коливань (Fu et al., 2025).

Систематизація та критичний аналіз наукових джерел дозволяють оцінити глобальні перспективи застосування целюлази у хлібопечінні, а також виділити ключові переваги та обмеження існуючих технологічних підходів. Для наочного порівняння ефективності ензиму за різними напрямками було зроблено зведену таблицю (Табл. 1).

Таблиця 1. Узагальнення ефективності застосування ензиму целюлази у хлібобулочних виробах

Напрямок застосування	**Публікації за тематикою**	**Технологічні виклики та обмеження**	**Перспективи та позитивні технологічні ефекти**
Вироби з ензимом целюлазою	Chauhan et al., 2023; Oliynyk et al., 2016; Liang et al., 2024; Lewko et al., 2024	- обмежена кількість публікацій в Україні за даною темою; - ризик надмірного розрідження тіста та зниження коефіцієнту утримання газу; - необхідність підбору, безпечних штамів – продуцентів.	- значний потенціал для подальших досліджень в Україні; - підвищення питомого об’єму, пористості, вологості хліба; - зниження твердості і клейкості м’якушки; - підвищення стійкості тіста завдяки стабілізації білкової матриці.
Вироби з ензимом целюлазою та добавками	Liu et al., 2017; Liu, Brennan, Tu, Brennan et al., 2023; Liu, Brennan, Brennan, et al., 2023; Liu, Brennan, Tu, Brennan, Huang et al., 2023; Liu, et al., 2024; Nguyen et al., 2021; Nguyen et al., 2022	- високі концентрації добавок після ензиматичного гідролізу можуть погіршувати загальну сенсорну оцінку; - складність підбору оптимального дозування ензиму для різних видів нетрадиційної сировини.	- зниження водопоглинальної здатності борошна добавкам; - трансформація нерозчинної клітковини у розчинну (пребіотичний ефект); - покращення розтяжності тіста та хрусткості готових виробів (печива).
Вироби з ензимом целюлазою у вигляді напівфаб-рикатів	Wang et al., 2017; Fu et al., 2025	- зменшення об’єму виробу через кристалізацію вологи.	- зменшення кількості вільної замороженої вологи та пригнічення міграції води; - збереження ензиматичної активності дріжджів після розморожування; - покращення кольору скоринки та текстури напівфабрикатів.

Джерело: розроблено на основі узагальнення джерел даної статті

Порівняльний аналіз літературних даних свідчить, що ефективність застосування целюлази у технології хлібобулочних виробів значною мірою залежить від способу її використання, активності та дозування ензиму, складу ензимного препарату, а також характеристик борошняної сировини. Узагальнення результатів досліджень показало, що особливо перспективним є застосування поліензимних систем, у яких дія целюлази доповнюється активністю інших ензимів. Зокрема, синергічне поєднання целюлази з ксиланазою та глюкозооксидазою забезпечує комплексний вплив на полісахаридні й білкові компоненти тіста, сприяючи оптимізації його структурно-механічних властивостей, газоутримувальної здатності та формуванню більш розвиненої пористості м'якушки. У результаті може спостерігатися збільшення питомого об'єму та покращення текстурних характеристик готових виробів (Oliynyk et al., 2016; Chauhan et al., 2023).

Водночас застосування окремих ензимів також може забезпечувати виражений технологічний ефект завдяки їх специфічній дії на певні компоненти борошняної матриці. Целюлаза каталізує гідроліз целюлози та інших доступних целюлозовмісних структур клітинних стінок рослинної сировини, сприяючи їх частковій деструкції та зміні функціонально-технологічних властивостей. Такі перетворення можуть впливати на водопоглинальну здатність борошна, розподіл вологи у тісті, його реологічні характеристики та, відповідно, на формування об'єму, структури й текстури готового хліба (Oliynyk et al., 2016; Chauhan et al., 2023). Отже, вибір між моноензимними та поліензимними препаратами має здійснюватися з урахуванням властивостей сировини, рецептурного складу та необхідного технологічного ефекту.

Окремим перспективним напрямом є ензиматична модифікація рослинних добавок, які використовують для підвищення харчової та біологічної цінності хлібобулочних виробів. Аналіз літературних джерел дає змогу виокремити два основні технологічні підходи до застосування целюлаз. Перший передбачає безпосереднє внесення ензимного препарату разом із функціональною добавкою під час замішування тіста. За такого способу целюлаза діє не лише на компоненти внесеної рослинної сировини, але й на доступні структурні полісахариди борошняної матриці. Це забезпечує комплексну модифікацію системи та може впливати на консистенцію тіста, його водозв'язувальну і газоутримувальну здатність та структурні характеристики готового виробу.

Другий підхід полягає у попередній ензиматичній обробці рослинних добавок до їх внесення у рецептуру. У цьому випадку параметри гідролізу – концентрацію ензиму, температуру, тривалість обробки та pH середовища – можна регулювати незалежно від основного процесу приготування тіста. Контрольований гідроліз компонентів клітинних стінок сприяє модифікації структури рослинної сировини та може підвищувати технологічну придатність добавок із високим вмістом харчових волокон. Такий підхід є особливо актуальним під час розроблення збагачених хлібобулочних виробів, оскільки дає змогу вводити більшу кількість волокнистої рослинної сировини за умови збереження прийнятних структурно-механічних та органолептичних характеристик готової продукції (Liu, Brennan, Tu, Brennan, Huang et al., 2023; Nguyen et al., 2022).

Ще одним перспективним напрямом використання целюлаз є технологія заморожених тістових напівфабрикатів. Під час заморожування та подальшого зберігання відбувається перерозподіл вологи й формування кристалів льоду, які здатні порушувати структурну цілісність тіста. Повторна кристалізація води та збільшення розмірів кристалів під час тривалого зберігання можуть додатково послаблювати структурну матрицю, погіршувати газоутримувальну здатність тіста та негативно впливати на об'єм і текстуру готових виробів після розморожування та випікання. Застосування целюлази може опосередковано впливати на ці процеси завдяки контрольованій модифікації полісахаридних компонентів тіста, зміні характеру зв'язування та розподілу води в системі. Унаслідок цього потенційно підвищується стабільність тістових напівфабрикатів під час заморожування і зберігання та

зменшується негативний вплив низькотемпературної обробки на якість готових хлібобулочних виробів.

ВИСНОВКИ. Проведений аналіз наукових джерел підтвердив перспективність застосування целюлолітичних ензимів у технології хлібобулочних виробів. Встановлено, що контрольований гідроліз целюлозовмісних компонентів рослинної сировини сприяє модифікації її структурних і функціонально-технологічних властивостей, що позитивно впливає на реологічні характеристики тіста, питомий об'єм, пористість і текстуру м'якушки готових виробів.

За результатами узагальнення літературних даних систематизовано три основні напрями застосування целюлаз у хлібопеченні: покращення якості традиційних і збагачених хлібобулочних виробів; ензиматична модифікація рослинної сировини та добавок із підвищеним вмістом харчових волокон; підвищення стабільності заморожених тістових напівфабрикатів. Встановлено, що використання препаратів із целюлазною та β-глюканазною активністю є перспективним для виробів із пшеничними й вівсяними висівками, гречаним і картопляним борошном та іншими рослинними компонентами, оскільки дає змогу зменшити негативний вплив підвищеного вмісту харчових волокон на структуру тіста та якість готової продукції.

Перспективним є також застосування целюлаз у технології заморожених тістових напівфабрикатів. Модифікація полісахаридної матриці тіста сприяє регулюванню стану та перерозподілу вологи під час заморожування і зберігання, що дає змогу зменшити негативний вплив кристалізації води на структуру тіста та краще зберегти якісні характеристики виробів після розморожування і випікання.

Отже, целюлази доцільно розглядати як ефективний інструмент цілеспрямованого регулювання технологічних властивостей сировини й тістових систем. Подальші дослідження доцільно спрямувати на обґрунтування оптимальних дозувань і режимів дії целюлаз залежно від виду сировини, складу рецептури та технології виробництва, а також на оцінювання ефективності комбінованих ензимних систем для отримання хлібобулочних виробів із прогнозованими показниками якості.

Подяки. Немає.
Конфлікт інтересів. Немає.

References.

Askari, H., Soleimanian-Zad, S., Kadivar, M., Shahbazi, S. (2025). Enhancement of wheat bread quality using xylanase cellulase from gamma radiated Trichoderma afroharzianum mutant. *Scientific Reports*, 15(1), 43001. https://doi.org/10.1038/s41598-025-27026-5

Chauhan, J., Shukla, R., Bishoyi, A. K., Goyal, S., Sanghvi, G. (2023). Investigation of physical, nutritional and sensory properties of wheat bread treated with purified thermostable cellulase and alpha amylase. *Cogent Food & Agriculture*, 9(1). https://doi.org/10.1080/23311932.2023.2261839

Chowdhury, M. H., Sarkar, F., Reem, C. S. A., Rachman, S. M., Mahamud, A. G. M. S. U., Rachman, M. A., Ashrafudoulla. M. (2024). Enzyme applications in baking: From dough development to shelf-life extension. *International Journal of Biological Macromolecules*, 282(Pt 4), 137020. https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.137020

Commission regulation (EU) a common authorisation procedure for food additives, food enzymes and food flavourings (2011, March). Retrieved from https://eur-lex.europa.eu/eli/reg_impl/2011/234/oj

Dahiya, S., Bajaj, B. K., Kumar, A., Tiwari, S. K., Singh, B. (2020). A review on biotechnological potential of multifarious enzymes in bread making. *Process Biochemistry*, 99, 290–306. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2020.09.002

De Souza, T. S. P., & Kawaguti, H. Y. (2021). Cellulases, hemicellulases, and pectinases: Applications in the food and beverage industry. *Food and Bioprocess Technology*, 14(8), 1446–1477. https://doi.org/10.1007/s11947-021-02678-z

Ejaz, U., Sohail, M., Ghanemi, A. (2021). Cellulases: From Bioactivity to a Variety of Industrial Applications. *Biomimethics,* 6(3), 44. https://doi.org/10.3390/biomimetics6030044

Enzym Group. (n.d.). Retrived from https://enzymgroup.com/uk/solutions/bakery-solutions.

Fu, Z., Sun, X., Zhu, K., Guo, X.-N. (2025). Improving the quality of frozen steamed stuffed buns after freeze-thaw cycles: Synergistic effects of cellulase, xylanase and sourdough. *Food Bioscience*, 68, 106524. https://doi.org/10.1016/j.fbio.2025.106524

Jonson, J. A., Miller, B. S. (1948) High levels of alfha-amylase in baking. L evaluation of the effect of alpha-amylase from various sources. *Cereal chemistry, 25*, 168-178.

Kocabaş, D. S., & Grumet, R. (2019). Evolving regulatory policies regarding food enzymes produced by recombinant microorganisms. *GM Crops & Food*, 10(4), 191–207. https://doi.org/10.1080/21645698.2019.1649531

Kumar, A., Dhiman, S., Krishan, B., Samtiya, M., Kumari, A., Pathak, N., Kumari., A., Aluko, R. E., Dhewa., T. (2024). Microbial enzymes and major applications in the food industry: a concise review. *Food Production Processing and Nutrition*, 6(1). https://doi.org/10.1186/s43014-024-00261-5

Law of Ukraine No. 35 "On the State Biosafety System for the Creation, Testing, Transportation and Use of Genetically Modified Organisms". (2007, May). Retrieved from https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1103-16/ed20201016#Text

Lewko, P., Wójtowicz, A., & Kamiński, D. M. (2024). The Influence of Processing Using Conventional and Hybrid Methods on the Composition, Polysaccharide Profiles and Selected Properties of Wheat Flour Enriched with Baking Enzymes. *Foods*, 13(18), 2957. https://doi.org/10.3390/foods13182957

Liang, X., Hong, J., Liu, B., Cui, Y., Zhang, S., Choi. L., Guan, E., Omer, S. H. S., Hu, Z., Zheng, X. (2024). Effect of cellulase and pentosanase with lactic acid bacteria to increase gluten formation and elasticity in whole-wheat dough sheets. *LWT*, 205, 116521. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116521

Liu, W., Brennan, M., Brennan, C., You, L. (2023). Individual and combined effects of α-amylase, xylanase, and cellulase on the breadmaking and nutritional properties of steamed bun enriched in wheat bran. *Journal of Food Science,* 88(8), 3228-3238 https://doi.org/10.1111/1750-3841.16665

Liu, W., Brennan, M., Tu, D., & Brennan, C. (2023). Influence of α-amylase, xylanase and cellulase on the rheological properties of bread dough enriched with oat bran. *Scientific Reports*, 13(1). https://doi.org/10.1038/s41598-023-31591-y

Liu, W., Brennan, M., Tu, D., Brennan, C., Huang, W. (2023). Effect of enzyme compositions on the rheological properties of bread dough enriched in buckwheat flour. *Food Science and Technology*, 43. https://doi.org/10.5327/fst.114322

Liu, X., Zhu, X., Zhu, Y., Wang, C., Li, H., Chen, S. (2024). Effect of cellulase on dough structure and quality characteristics of tough biscuits enriched with potato whole flour. *Journal of Food Science*, 89(6), 3484–3493. https://doi.org/10.1111/1750-3841.17091

Liu, W., Brennan, M. A., Serventi, L., Brennan, C. S. (2017). Effect of cellulase, xylanase and α-amylase combinations on the rheological properties of Chinese steamed bread dough enriched in wheat bran. *Food Chemistry*, 234, 93–102. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.04.160

Market.us. (2025). *Baking Enzymes Market Size, Share CAGR of 5.5%.* Retrieved from https://market.us/report/baking-enzymes-market/

Maat, J., Roza, M. (1989, March 23). *US5108765A - Composition for improving the properties of dough and method of using same - Google Patents*. https://patents.google.com/patent/US5108765A/en

Nguyen, N. D. T., Phan, T. T. H., Tran, T. T. T., Ton, N. M. M., Vo., D. L. T, Le. V. V. M. (2022). Enzymatic treatment of spent green tea leaves and their use in High-Fiber cookie production. *Food Technology and Biotechnology*, 60(3), 396–405. https://doi.org/10.17113/ftb.60.03.22.7474

Nguyen, S. N., Vien, M. D., Le, T. T. T., Tran, T. T. T., Ton, N. M. N., Le, V. V. M. (2021). Effects of enzymatic treatment conditions on dietary fibre content of wheat bran and use of cellulase-treated bran in cookie. *International Journal of Food Science & Technology*, 56(8), 4017–4025. https://doi.org/10.1111/ijfs.15022

Oliynyk, S. G., Zaparenko, G. V., & Dyakov, O. G. (2016). Optimization of the composition of enzyme preparations for improving the quality of grain bread. *Food Science and Technology,* 10(1). https://doi.org/10.21691/fst.v10i1.76

Ozatay, S. (2020). Recent applications of enzymes in food industry. *Journal of Current Researches on Engineering Science and Technology*, 6(6 (1)), 17–30. https://doi.org/10.26579/jocrest.52

Putseys, J. A., & Schooneveld-Bergmans, M. E. (2019). Enzymes used in baking. In *Industrial Enzyme Applications* (pp. 95–123). https://doi.org/10.1002/9783527813780.ch2_1

Register of food enzymes to be considered for inclusion in the union list (2024, July). Retrieved from https://food.ec.europa.eu/document/download/910b596e-aa10-4c5f-9831-677c28f4a973_en?filename=fs_food-improvement-agents_enzymes_register.pdf

Sharma, A., Tewari, R., Rana, S. S., Soni, R., Soni, S. K. (2016). Cellulases: Classification, methods of determination and industrial applications. *Applied Biochemistry and Biotechnology*, 179(8), 1346–1380. https://doi.org/10.1007/s12010-016-2070-3

Silano, V., Baviera, J. M. B., Bolognesi, C. et al. (2019). Characterisation of microorganisms used for the production of food enzymes. *EFSA Journal*, 17(6).https://doi.org/10.2903/j.efsa.2019.5741

Vakulenko, O. O., & Zhuravel, O. S. The increasing of the energy efficiency for production of bakery products // Abstracts of the VII International Scientific and Technical Conference "Lighting and Electrical Engineering: History, Problems, Prospects" (May 15-17, 2024). – Ternopil – P. 93-94.

Wang, X., Pei, D., Teng, Y., Liang, J. (2017). Effects of enzymes to improve sensory quality of frozen dough bread and analysis on its mechanism. *Journal of Food Science and Technology*, 55(1), 389–398. https://doi.org/10.1007/s13197-017-2950-8

Yoon, J., Lee, K., & Lee, H. (2022). Physicochemical properties of enzyme treated-dietary fibers from whole grain and the quality characteristics of cakes. *Korean Journal of Food Science and Technology*, 54(5), 490–497. https://doi.org/10.9721/kjfst.2022.54.5.490

УДК 637.523:579.67
https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2026.96

ВПЛИВ БАКТЕРІАЛЬНИХ ЗАКВАСОК НА ПІДВИЩЕННЯ БІОЛОГІЧНОЇ ЦІННОСТІ М'ЯСА У ВИРОБНИЦТВІ САРДЕЛЬОК

Юлія Петрівна Крижова
кандидатка технічних наук, доцентка
https://orcid.org/0000-0003-1165-8898
Національний університет біоресурсів та природокористування України
03041, вул. Виставкова, 16, м. Київ, Україна
Наталія Михайлівна Слободянюк
кандидатка сільсько-господарських наук, професорка
https://orcid.org/0000-0002-7724-2919
Національний університет біоресурсів та природокористування України
03041, вул. Виставкова, 16, м. Київ, Україна

Анотація. У науковій роботі підтверджена доцільність використання бактеріальної закваски, висівок вівса та гарбузової олії для підвищення харчової та біологічної цінності сардельок, оптимальна кількість яких встановлена по 2 % на 100 % сировини. Актуальність даних досліджень підтверджується необхідністю розробки продуктів нового покоління, яка ґрунтується на підвищеному попиті населення на продукти здорового харчування згідно з основами нутриціології.

Метою дослідження було встановлення впливу висівок вівса, олії насіння гарбуза та бактеріальної закваски на підвищення харчової та біологічної цінності сардельок.

Для досягнення поставленої мети було розроблено три дослідні зразки сардельок з використанням бактеріальної закваски, різною кількістю висівок вівса – 1 %, 2 % та 3 %. Також було замінено м'ясо яловичини на дієтичне м'ясо куряче та індиче, а жир-сирець – на олію гарбузову.

Результати досліджень показали, що використання висівок вівса та гарбузової олії в кількості 2 % забезпечило зниження вмісту жиру в сардельках на 8 %, підвищення вологозв'язувальної здатності на 27 %, виходу готових продуктів на 7 %, вологоутримуючої здатності на 19,5 %, що свідчить про кращі фізико-хімічні та функціонально-технологічні показники сардельок. Соковитість сардельок, вершковий смак та аромат, значне підвищення пластичності, зниження показника пенетраційної напруги з 9,6 кПа у контрольному зразку до 3,5 кПа у дослідному зразку підтверджує позитивний вплив обраних інгредієнтів на органолептичні та структурно-механічні показники розроблених сардельок за результатами дегустаційної оцінки, визначенням пластичності та пенетрації.

Внесення бактеріальної закваски та 30-хвилинна витримка фаршу підвищує біодоступність амінокислот у складі білків м'яса; кількість амінокислот підвищилась на 0,057 мг/100 г, в тому числі незамінних на 0,0243 мг/100 г порівняно з фаршем без витримки.

Результати досліджень підтверджують доцільність використання бактеріальної закваски, вівсяних висівок та олії гарбузової у встановленій оптимальній кількості на підвищення харчової та біологічної цінності сардельок.

Ключові слова: *пробіотики, вівсяні висівки, гарбузова олія, здорове харчування, ферментація м'яса.*

 Creative Commons Attribution 4.0 International Public License

UDC 637.523:579.67
https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2026.96

INFLUENCE OF BACTERIAL STARTER CULTURES ON ENHANCING THE BIOLOGICAL VALUE OF MEAT IN FRANKFURTER SAUSAGE PRODUCTION

Yuliia Kryzhova
Ph.D. (Engineering)
https://orcid.org/0000-0003-1165-8898
National University of Life Resources and Environmental Sciences of Ukraine
03041, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine
Nataliia Slobodyanyuk
Ph.D. in Agricultural Sciences, Professor
https://orcid.org/0000-0002-7724-2919
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
03041, 15, Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine

Abstract. *The study demonstrates the effectiveness of incorporating a bacterial starter culture, oat bran, and pumpkin seed oil to enhance the nutritional and biological value of small sausages, with optimal inclusion rates of 2% each of the three per 100% of raw materials. The relevance of this research is underscored by the need to develop next-generation food products, driven by growing consumer demand for healthy foods aligned with nutrition science principles.*

The study aimed to evaluate the impact of incorporating oat bran, pumpkin seed oil, and a bacterial starter culture on improving the nutritional and biological value of small sausages.

To achieve the objective, three experimental frankfurter formulations were developed, incorporating a bacterial starter culture and oat bran at varying concentrations (1%, 2%, and 3%). Furthermore, beef was replaced with dietary chicken and turkey meat, while raw fat was substituted with pumpkin seed oil.

Research results showed that the use of oat bran and pumpkin seed oil in the amount of 2% reduced the fat content in frankfurters by 8%, a 27% increase in water-binding capacity, a 7% increase in product yield, and a 19.5% improvement in water-holding capacity, indicating improved physicochemical characteristics and functional-technological properties of the sausages. The juiciness of the frankfurters, their creamy taste and aroma, a significant increase in plasticity, and a decrease in the penetration stress values from 9.6 kPa in the control sample to 3.5 kPa in the test sample confirm the positive effect of the selected ingredients on the organoleptic and structural-mechanical characteristics of the developed frankfurters, based on sensory evaluation, plasticity, and penetration measurements.

The incorporation of a lactic acid bacterial starter culture, followed by a 30-min holding period of the meat batter, increased the bioavailability of amino acids in meat proteins. The total amino acid content increased by 0.057 mg/100 g, including a 0.0243 mg/100 g increase in essential amino acids, compared with the meat batter without the holding period.

The experimental findings confirm the expediency of incorporating a bacterial starter culture, oat bran, and pumpkin seed oil at the determined optimal ratio to enhance the nutritional and biological value of the frankfurters.

Key words: *probiotics, oat bran, pumpkin oil, healthy eating, meat fermentation.*

ВСТУП. Збереження здоров’я людини вимагає впровадження у м’ясну промисловість інноваційних продуктів, здатних подолати сучасні дефіцити в раціоні харчування. Україна має поставити ці виклики на порядок денний, приділяючи особливу увагу розвитку наукових основ нутриціології та оновленню державної стратегії для забезпечення збалансованого харчування на загальнонаціональному рівні.

Сьогодні важливо переглянути підходи до харчування, щоб нейтралізувати вплив зовнішніх загроз. Незадовільний стан довкілля, глибока технологічна обробка продуктів, недостатнє споживання харчових волокон та надлишок жирів вимагають рішучих кроків для збереження здоров'я населення.

Один із ключових шляхів оптимізації харчування - це впровадження комбінованих продуктів нового покоління. Зменшення частки жирів, додавання клітковини, поліненасичених жирних кислот і пробіотиків дозволяє створювати продукти, які за своїми оздоровчими характеристиками є значно ефективнішими за традиційні.

Для розробки продуктів на основі м’яса для здорового харчування і зменшення споживання насичених жирів у м'ясних продуктах використовують заміну тваринних жирів рослинними оліями, що позитивно впливає на зниження ризику серцево-судинних та інших захворювань (Pablo Ayuso et al., 2025).

При цьому слід враховувати, що тваринний жир забезпечує гарну консистенцію та смак продукту. Тому використання харчових волокон буде доцільним з технологічної точки зору, щоб забезпечити хороші структурні властивості. Крім того, харчові волокна мають фізіологічні переваги. В м’ясній промисловості вони набули широкого застосування завдяки своїй харчовій, функціональній та технологічній цінності. Доведено, що харчові волокна мають багато переваг для здоров’я людини (Claudiu Ștefan Ursachi et al., 2020). Особливо ефективними є вівсяні волокна при використанні їх у виробництві тонкоподрібнених м’ясних продуктів (Talukder, 2015).

Усвідомлення споживачем необхідності покращення свого здоров’я через споживання їжі потребує від виробників підвищення якості м’ясних продуктів, які були б функціональними та відповідали здоровим продуктам.

Для виробництва таких функціональних продуктів необхідно оптимізувати рецептурний склад таким чином, щоб готовий продукт не лише забезпечував організм необхідними поживними речовинами, але й мав високі органолептичні показники. Також необхідно вказувати перевагу такого збагаченого продукту, рекомендованого для здорового харчування, на етикетці чи іншому упакуванні, щоб споживач міг легко знайти його на поличці магазину (Decker and Park, 2010).

Попри складний економічний стан м’ясної галузі та жорстку конкуренцію, розробка продуктів оздоровчо-профілактичного спрямування є стратегічно виправданою. Навіть потенційне зростання собівартості нівелюється унікальністю таких продуктів, оскільки відсутність прямих аналогів на ринку відкриває вільну нішу для їх реалізації та має неоціненний соціальний ефект.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. Раціон харчування сучасної людини включає м’ясні продукти, які виробляє м’ясна промисловість в широкому асортименті. Проте фахівці галузі мало приділяють уваги інноваційним рішенням для зміни асортименту та розробки продуктів профілактичного, спеціального або функціонального призначення, які були б збагачені білком, мінеральними речовинами, харчовими волокнами, мали підвищену біологічну цінність. Збагачення нутрієнтного складу м’ясних продуктів характерно для науковців, які постійно вивчають дану проблему та займаються розробкою нових інноваційних рішень, враховуючи важливість надходження в організм людини цінних поживних речовин з харчовими продуктами. У зв’язку з цим проводилися різні дослідження по застосуванню рослинних добавок у поєднанні з м’ясною сировиною для збагачення м’ясних виробів незамінними амінокислотами та підвищення функціонально-технологічних властивостей продукту (Oshchypok, 2016).

Для покращення фізико-хімічних, реологічних, сенсорних та функціональних властивостей м’ясної системи перспективним є використання бактеріальних заквасок, які є також джерелом пробіотиків (Kryzhak et al., 2023).

Бактеріальні препарати на основі молочнокислих бактерій мають позитивний вплив на функціонально-технологічні і структурно-механічні властивості м'ясної сировини, що підтверджено попередніми науковими роботами, і це ключове питання продовжує викликати науковий інтерес (Sychevskyi et al., 2016; Voytsekhivska et al., 2018).

Деякі наукові дослідження присвячені вивченню впливу заквасок на стабільність продуктів при зберіганні, враховуючи, що вони стримують ріст патогенних мікроорганізмів та пригнічують розвиток мікроорганізмів, що спричиняють псування (Laranjo et al., 2019).

Заміна тваринного жиру в рецептурі сардельок на олію насіння гарбуза збагачує продукт ω-3 та ω-6 поліненасиченими жирними кислотами, антиоксидантами, іншими біологічно активними компонентами, підвищує сенсорні властивості та біологічну цінність готового продукту (Helikh, 2025).

Встановлено, що для підвищення харчової цінності продукту, покращення сенсорних показників (текстури) та технологічних властивостей, а саме вологоутримуючої здатності, використовують вівсяні висівки як джерело харчових волокон, які також сприяють профілактиці певних захворювань, покращують роботу травної системи, що в цілому з підібраними рецептурними інгредієнтами для розробки нових м'ясних продуктів дасть можливість виробництва сардельок, які відповідатимуть продуктам здорового харчування (Talukder, 2015; Bal-Prylypko et al., 2026).

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Наукова робота виконувалася на кафедрі технології м'ясних, рибних та морепродуктів Національного університету біоресурсів і природокористування України.

Дослідження pH м'яса та фаршу проводили на лабораторному pH-метрі.

Кислотне число олій визначали титруванням вільних жирних кислот в ефірно-спиртовому розчині жиру водним розчином лугу.

Величину пероксидного числа рослинних олій визначали методом титрування в присутності індикатора.

Визначення амінокислотного складу проводили за допомогою іонообмінної хроматографії.

Вміст вологи визначали висушування 5 г досліджуваного зразка в сушильній шафі за температури 103±2 ºС до постійної маси.

Масову частку білкових речовин визначали за загальним азотом методом К'єльдаля, вміст жиру – екстракційно-ваговим методом Сокслета на аналізаторі жиру SOX 406.

Вологозв'язувальну здатність фаршу проводили методом пресування 0,3 г подрібненого зразка протягом 10 хв., пластичність – за площею вологої плями досліджуваного зразка.

Пенетрацію визначали за глибиною занурення конічного та голкового інденторів у зразок в зазначених умовах на пенетрометрі Ulab 3-31, пенетраційну напругу та граничне напруження зсуву – перерахунком значень пенетрації з використанням вказаних інденторів.

Вихід готового продукту – зважуванням сардельок до та після термічного оброблення.

Мікробіологічні показники сардельок визначали згідно загальноприйнятих стандартизованих методів досліджень, вказаних в ДСТУ 4436:2005 Ковбаси варені, сосиски, сардельки, хліби м'ясні. Загальні технічні умови.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГОВОРЕННЯ. В ході проведеної роботи були розроблені 3 дослідні рецептури сардельок з використанням закваски, вівсяних висівок та гарбузової олії з різним відсотковим вмістом вівсяних висівок.

Контрольна рецептура була виготовлена без вище перерахованих компонентів, аналогом якої слугували сардельки «Яловичі» 1с. Дослідні рецептури включали 2 % гарбузової олії, 2 % закваски та різну кількість вівсяних висівок – 1 %, 2 % та 3 % на 100 % сировини.

Варіанти рецептур сардельок наведено в таблиці 1.

Таблиця 1. Рецептури розроблених зразків сардельок, кг на 100 кг сировини

Сировина	Рецептури			
	Контроль	**№1**	**№2**	**№3**
Яловичина 1 сорт	40	-	-	-
Яловичина 2 сорт	50	-	-	-
Філе куряче	-	46,25	43,5	41,75
Філе індиче	-	45,0	43,0	40,0
Жир-сирець	10	-	-	-
Олія гарбузова	-	2,0	2,0	2,0
Висівки вівсяні	-	1,0	2,0	3,0
Вода на гідратацію висівок	-	3,75	7,5	11,25
Бактеріальна закваска	-	2,0	2,0	2,0
Прянощі та матеріали, г на 100 кг сировини				
Сіль кухонна	2500	-	-	-
Нітритна сіль	-	2507,5	2557,5	2607,5
АпроРед	-	0,5	0,5	0,5
Цукор-пісок	80	90	90	90
Коріандр мелений	110	115	120	125
Часник свіжий подрібнений	120	-	-	-
Перець чорний мелений	110	115	120	125
Нітрит натрію	7,5	-	-	-

Джерело: розроблено авторами на основі проведених досліджень

Запропоновані рецептури розширюють асортимент сардельок підвищеної якості та біологічної цінності завдяки використанню вівсяних висівок як джерела харчових волокон та гарбузової олії для вітамінізації продукту. Використання бактеріальної закваски для ферментації фаршу забезпечує збагачення амінокислотного складу, надаючи виробам оздоровчо-профілактичної спрямованості. На відміну від традиційного складу, у розроблених рецептурах яловичину замінено на дієтичне м'ясо птиці - куряче та індиче.

Основними недоліками контрольної рецептури є значний вміст жиру та дефіцит харчових волокон.

Для вибору рослинної олії нами було проведено дослідження якості рафінованих та нерафінованих олій: соняшникової, гірчичної, гарбузової, кукурудзяної. Дані наведені в таблицях 2 та 3.

Таблиця 2. Показники якості досліджуваних нерафінованих рослинних олій

Олія	Показник	
	Пероксидне число, ммоль$^1/_2$O/кг	**Кислотне число, мг КОН/г**
Соняшникова	18,22±0,1	2,24±0,04
Гірчична	22,95±0,12	1,62±0,03
Гарбузова	11,8±0,08	2,45±0,04
Кукурудзяна	17,06±0,09	0,83±0,01

Джерело: розроблено авторами на основі досліджень (2025)

Оцінка якісних характеристик аналізованих олій засвідчила, що показники кислотного числа всіх зразків відповідають встановленим стандартам. Водночас рівень пероксидного числа в кожному з досліджених нерафінованих зразків олій перевищує допустимі норми.

За сукупністю показників якості можна сказати, що рафінована гірчична та кукурудзяна олії викликають питання щодо зберігання, тому для нашої роботи між соняшниковою та гарбузовою було обрано гарбузову рафіновану олію, яка мала найкращі показники та відповідала заданим вимогам.

Таблиця 3. Показники якості досліджуваних рафінованих рослинних олій

Олія	Показник	
	Пероксидне число, ммоль $^1/_2$O/кг	**Кислотне число, мг КОН/г**
Соняшникова	1,12±0,05	0,25±0,02
Гірчична	7,85±0,25	2,20±0,1
Гарбузова	1,09±0,05	0,35±0,03
Кукурудзяна	6,80±0,2	1,85±0,1

Джерело: розроблено авторами на основі досліджень (2025)

Крім того, Ayyildiz et al. (2019) описали переваги гарбузової олії за фізико-хімічними властивостями, вмістом олеїнової та лінолевої жирних кислот, відмітили, як цінну сировину для підвищення харчової цінності продуктів та користі для підтримки здоров'я.

Підбір рецептурних компонентів з метою удосконалення технології сардельок із застосуванням ферментації м'яса закваскою, збагачення харчовими волокнами з використанням висівок вівса та гарбузовою олією дало можливість створити сардельки з високою харчовою та біологічною цінністю.

Технологія виготовлення запропонованих сардельок від традиційних відрізняється наступними додатковими технологічними процесами: підготовкою вівсяних висівок та бактеріальної закваски. Висівки попередньо просіюють та підсушують у сушильній шафі за t = 90 °С, τ = 30 хв, після чого гідратують водою протягом 30-40 хв. Закваску готують наступним чином: сквашують молоко з бактеріальною сухою закваскою за постійної температури 37-40 °С, τ = 3-6 годин, залежно від об'єму розведення у молоці від 1 до 3 л молока на 0,5 г сухої бактеріальної закваски (згідно рекомендацій виробника). Готову закваску можна зберігати за рекомендацією виробника 3 доби за t = +2…+5 °С.

Підготовка натуральних оболонок, а саме черев свинячих діаметром 32-44 мм, полягає в очищенні від солі, після чого їх промивають в холодній воді на протязі 12-15 хвилин.

Знежиловане м'ясо подрібнюють на вовчку, діаметр отворів решітки 2-6 мм, витримують у посолі, після чого завантажують в мішалку, додають закваску, перемішують, викладають в ємності та витримують протягом 30 хв; після цього ферментований фарш завантажують в кутер для складання фаршу та більш тонкого подрібнення сировини. Після завантаження фаршу, в кутер додають половину води (лід), передбаченої рецептурою, нітрит натрію (нітритну сіль), гідратовані висівки вівса та гарбузову олію, кутерують протягом 5 хвилин. Потім вносять спеції, натуральний барвник «АпроРед» і залишкову кількість води (льоду), продовжують кутерування до 8-12 хвилин.

Фарш шприцюють в натуральні оболонки за тиску 6-8 · 10^5 Па.

Сформовані сардельки направляють на обсмажування за температури 80 – 100 °С до досягнення температури в центрі сардельок 40-45 °С. Після обсмажування сардельки направляють на варіння, яке проводиться за температури 75-85 °С до досягнення температури в центрі сардельок 72 °С, що забезпечує їх готовність до вживання.

Для забезпечення товарного вигляду готовому продукту, а саме кольору, стану поверхні оболонки та ін., зниження втрат маси продукту, запобігання розвитку залишкової мікрофлори, надання стійкості в процесі подальшого зберігання сардельки після варіння охолоджують. Охолодження проводять спочатку водою за температури 8-10 °С протягом 10-15 хв, а потім повітрям температурою ≤ 8 °С, τ = 4-6 год до температури в середині сардельок 8-15 °С.

Розроблені зразки сардельок досліджували на показник активної кислотності. Спочатку було досліджено pH індичого та курячого м'яса, потім pH фаршу контрольного зразка (без внесення бактеріальної закваски), які становили відповідно 6,0; 5,45 та 5,79.

Silval et al. (2024) не виявили різниці в значеннях pH при виготовленні бургерів з м’яса кролика з додаванням 5 %, 10 % та 15 % вівсяних висівок.

Фарш дослідного зразка, із бактеріальною закваскою, витримували протягом години за температури 0 – 4 °С та кожні 15 хв визначали зміну активної кислотності (значення pH) під дією бактеріальної закваски (рис.1).

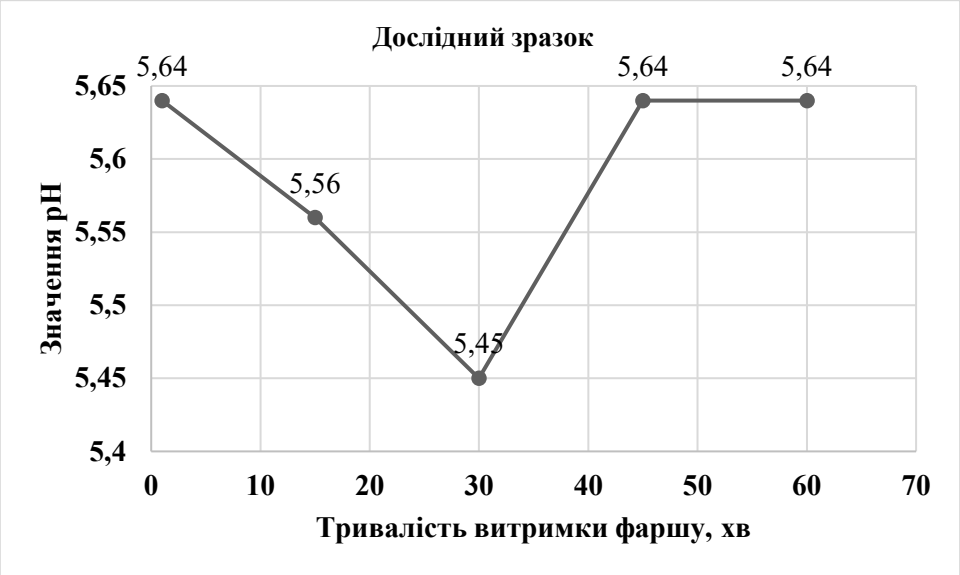

Рисунок 1. Зміна pH фаршу дослідного зразка з бактеріальною закваскою
Джерело: розроблено авторами на основі досліджень

Дослідженнями встановлено зниження pH фаршу з бактеріальною закваскою в кислу сторону через 30 хвилин витримки, що дало можливість стверджувати про недоцільність подальшої витримки фаршу, що також є сприятливим для кольороутворення продукту та стабільності забарвлення при зберіганні.

Проведені науковцями попередні дослідження показали, що часткове додавання стартових культур збродженої молочнокислої мікрофлори до м'ясної сировини забезпечило кращу консистенцію сардельок порівняно з контрольним зразком та стійкість їх в процесі зберігання (Shynkaruk and Baluk, 2021).

Для досягнення швидшого процесу дозрівання, без тривалої витримки, рекомендовано корисну мікрофлору додавати на початку технології, що забезпечить позитивний ефект. В даних наукових дослідженнях використовувалась бактеріальна закваска, яка містить біфідобактерії, для розщеплення білків м’яса до амінокислот та для створення легкозасвоюваної форми білків м’яса. Процес здійснюється під впливом протеази – ферменту, який виділяють бактерії в процесі росту.

Таким чином, в результаті створюється м’ясна система, в якій, окрім білків, також присутні білки, розщеплені до амінокислот, що підвищує біодоступність такої системи: організму не потрібно розщеплювати більшість білків, так як з їжею надходить значна частка амінокислот (Shynkaruk and Baluk, 2021).

Для визначення повноцінності білків у дослідному зразку визначено його амінокислотний склад і обраховано амінокислотний скор відносно «ідеального білка».

Було досліджено амінокислотний склад зразка фаршу з закваскою за 30-хвилинної витримки та без витримки. Кількість амінокислот у фарші та амінокислотний скор наведено в таблицях 4, 5.

Таблиця 4. Амінокислотний склад фаршу з закваскою без витримки

Назва амінокислоти	Концентрація мг/ 100 г фаршу	Скор, %	Еталонний білок мг/100 г
1	2	3	4
Аланін	1,202		
Аргінін	1,336		
Аспарагінова кислота	1,796		
Валін*	1,061	21,22	5,0
Гістидин	1,451		
Гліцин	0,853		
Глутамінова кислота	2,803		
Ізолейцин*	1,075	26,88	4,0
Лейцин*	1,715	24,5	7,0
Лізин*	2,003	36,49	5,5
Метіонін*	0,002	0,057	3,5
Пролін	0,543		
Серин	0,783		
Тирозин	0,456		
Треонін*	0,884	22,1	4,0
Триптофан*	0,477	47,7	1,0
Фенілаланін*	0,766	12,76	6,0
Цистеїн	0,008		
Всього	19,214		

*незамінні амінокислоти

Джерело: розроблено авторами на основі досліджень

Таблиця 5. Амінокислотний склад фаршу з закваскою після 30-хвилинної витримки

Назва амінокислоти	Концентрація мг/ 100 г фаршу	Скор, %	Еталонний білок мг/100 г
1	2	3	4
Аланін	1,204		
Аргінін	1,339		
Аспарагінова кислота	1,8		
Валін*	1,067	21,34	5,0
Гістидин	1,454		
Гліцин	0,859		
Глутамінова кислота	2,81		
Ізолейцин*	1,079	26,975	4,0
Лейцин*	1,718	24,5	7,0
Лізин*	2,008	36,5	5,5
Метіонін*	0,0033	0,094	3,5
Пролін	0,546		
Серин	0,785		
Тирозин	0,458		
Треонін*	0,887	22,18	4,0
Триптофан*	0,479	47,9	1,0
Фенілаланін*	0,766	12,76	6,0
Цистеїн	0,0089		
Всього	19,271		

*незамінні амінокислоти

Дослідження амінокислотного складу показали, що кількість амінокислот в розробленому зразку фаршу з внесеною закваскою за 30-хвилинної витримки має більшу кількість амінокислот (+0,057), в тому числі незамінних амінокислот (+0,0243) порівняно з фаршем без витримки та наявність всіх незамінних амінокислот (табл. 5).

Дослідження підтверджують, що внесення закваски збільшує кількість амінокислот та підвищує їх біодоступність в складі білку м'яса. Маємо думку, що для отримання кращого результату по підвищенню кількості амінокислот слід було б використовувати закваску більшої концентрації, тобто згідно рекомендацій по її приготуванню - використовувати розведення сухої бактеріальної закваски в 1 л молока, а не в 3 л, як це було виконано в нашій науковій роботі.

Слід відмітити, що за органолептичними показниками всі розроблені зразки характеризуються високими смаковими властивостями, але найбільш соковитими були сардельки, виготовлені за рецептурою №2, які мали приємний смак та аромат. Аналогічні результати були отримані при дослідженні впливу пробіотиків на сенсорні показники салями з низьким вмістом жиру (Bis-Souza et al., 2020).

У результаті проведення органолептичної оцінки встановлено, що використання висівок вівса призвело до покращення консистенції, але при збільшенні внесення їх до 3 % спостерігаємо погіршення консистенції, яка стає надмірно щільною, та погіршення вигляду фаршу на розрізі. Хоча слід відмітити, що при дослідженні бургерів, які виготовляли з м'яса кролика з додаванням вівсяних висівок в кількості 5 %, не відмічено зниження сенсорних характеристик, особливо кольору та аромату (Silval et al., 2024). Внесення ж олії гарбузової покращує консистенцію сардельок.

Можна зазначити, що використання закваски, висівок вівса та гарбузової олії в рецептурі сардельок в кількості по 2 % відповідно кожного із перелічених інгредієнтів позитивно впливає на консистенцію, смак та запах готових виробів. Тому для подальших досліджень було обрано зразок №2 з використанням 2 % закваски, 2 % вівсяних висівок та 2 % гарбузової олії на 100 % сировини.

Виробництво сардельок високої якості забезпечується дотриманням технології, оптимальним вмістом вологи та її зв'язаним станом. Це, в свою чергу, сприяє високому вологозв'язуванню фаршу, покращенню органолептичних показників, підвищеному виходу готового продукту. Зміна вологозв'язувальної здатності розроблених зразків представлена на рис. 2.

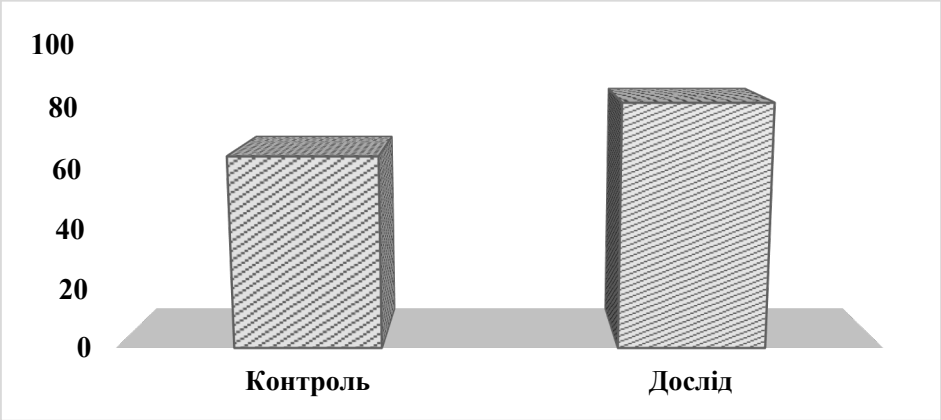

Рисунок 2. Вологозв'язувальна здатність фаршу до загальної вологи, %

Дослідний зразок у порівнянні з контрольним має вищу вологозв'язувальну здатність (на 17,33 %), що пояснюється вмістом рослинного компоненту – висівок вівса, та додаванням закваски. Харчові волокна представлені полісахаридами, які містять вільні гідроксильні групи, здатні утримувати воду шляхом утворення водневих зв'язків (Silval et al., 2024).

Вологоутримуюча здатність – ще один функціонально-технологічний показник, який характеризує стабільність фаршевої системи в процесі термічного оброблення. Для досягнення високого значення цього показника важливо правильно оптимізувати рецептурний склад. І значну роль в цьому відіграють харчові волокна вівсяних висівок (Mishra et al., 2023; Silval et al., 2024). Чим вища вологоутримуюча здатність продукту, тим соковитіша його консистенція.

Зміна вологоутримуючої здатності готових сардельок зображена на рис. 3.

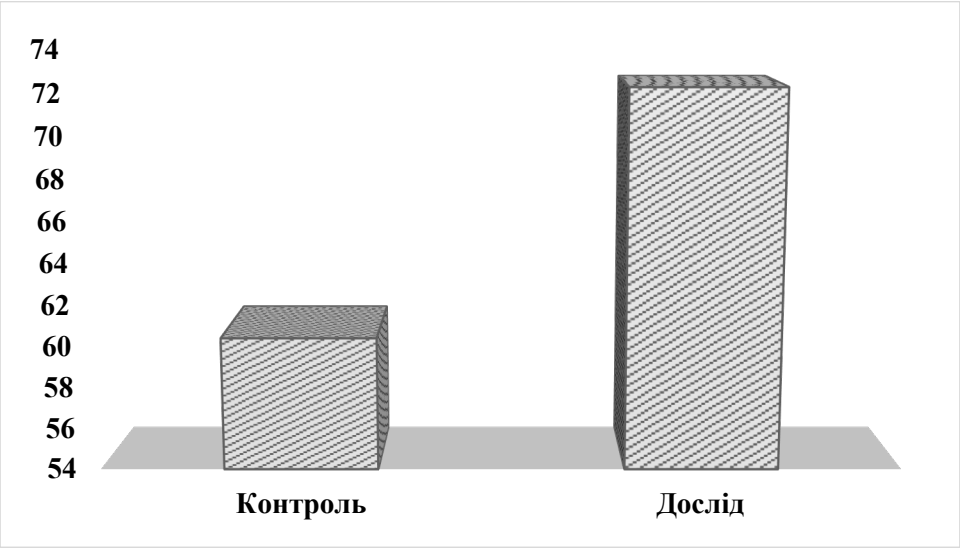

Рисунок 3. Вологоутримуюча здатність розроблених зразків сардельок, %

Згідно отриманих даних розроблений зразок сардельок має вищий на 11,82 % показник вологоутримуючої здатності порівняно з контрольним зразком. Застосування висівок вівса сприяє високому зв’язуванню вологи, закваска впливає на стан м’язових волокон, вміст гарбузової олії сприяє підвищенню вологоутримуючої здатності, що підтверджується дослідженнями Türkan Uzlaşır et al., (2020), які відмічали, що зі збільшенням вмісту гарбузової олії у м'ясному фарші досягається підвищення вологоутримуючої здатності продукту.

Вихід готових сардельок за розробленими рецептурами зображений на рис. 4.

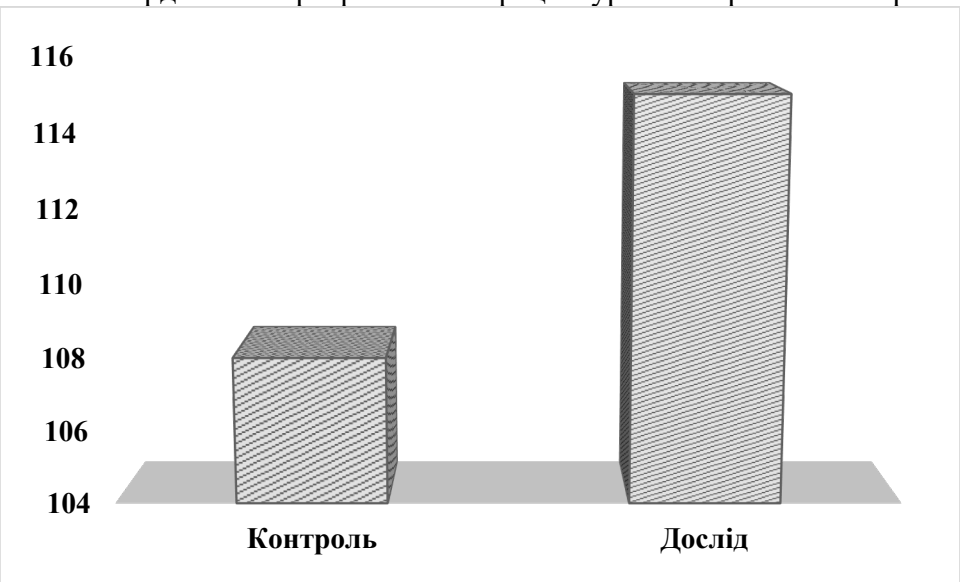

Рисунок 4. Вихід досліджуваних зразків сардельок, %

Дослідження показали, що завдяки використанню вівсяних висівок та бактеріальної закваски отримали підвищення виходу сардельок на 7 % (Silval et al., 2024). Serdaroğlu et al. (2017) вивчали вплив на якість продукту емульсії гарбузової олії при додаванні до м'ясних емульсій з курячого м'яса з частковою заміною яловичого жиру емульсією гарбузової олії і встановили зміну pH, підвищення стабільності емульсії та виходу після термооброблення. Тому можна відмітити позитивний вплив і гарбузової олії на вихід сардельок.

Для характеристики консистенції продукту, текстури, які були оцінені органолептично, були досліджені структурно-механічні показники.

На стабільність та текстуру м'ясних продуктів позитивно впливають харчові волокна, якими рекомендовано збагачувати їх, підвищуючи якісні характеристики (Özbaş and Ardıç, 2016).

Значення пластичності фаршу та готових сардельок, отримані в процесі досліджень, наведені на рис.5 та 6.

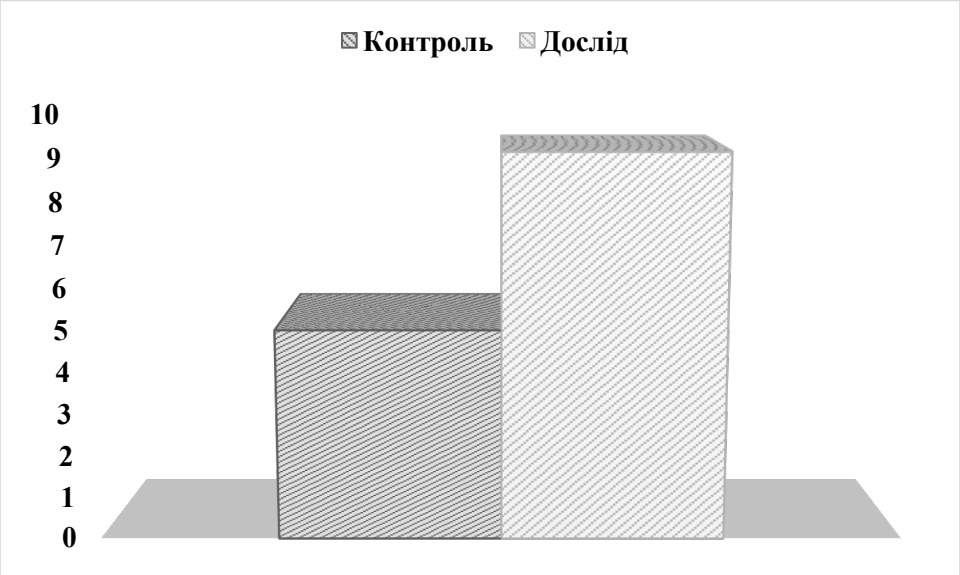

Рисунок 5. Пластичність фаршу, см^2/г

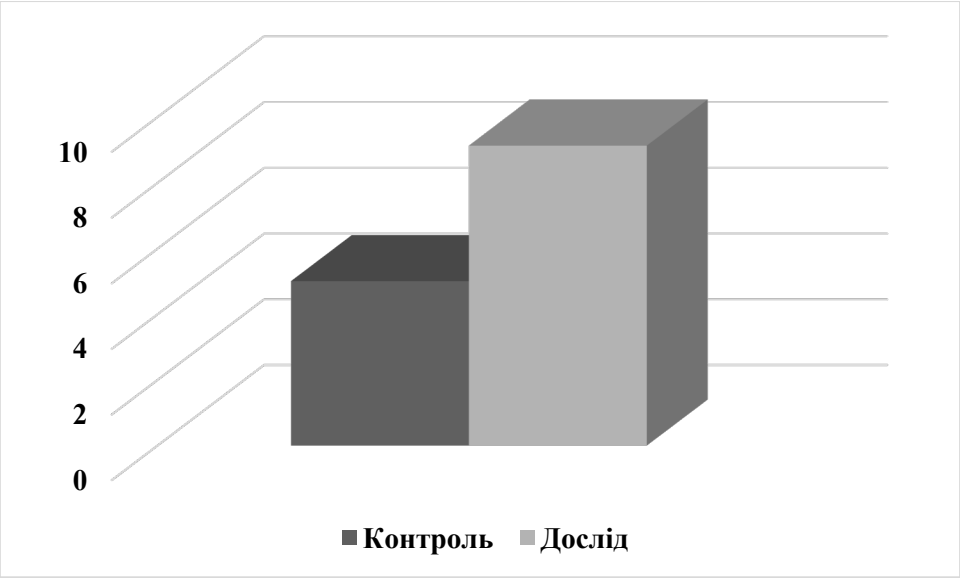

Рисунок 6. Пластичність готового продукту, см^2/г

Важливо було дослідити вплив закваски на ферментацію м'яса в залежності від часу витримки фаршу із закваскою. На рис. 7 зображено отримані результати в процесі витримки фаршу із закваскою.

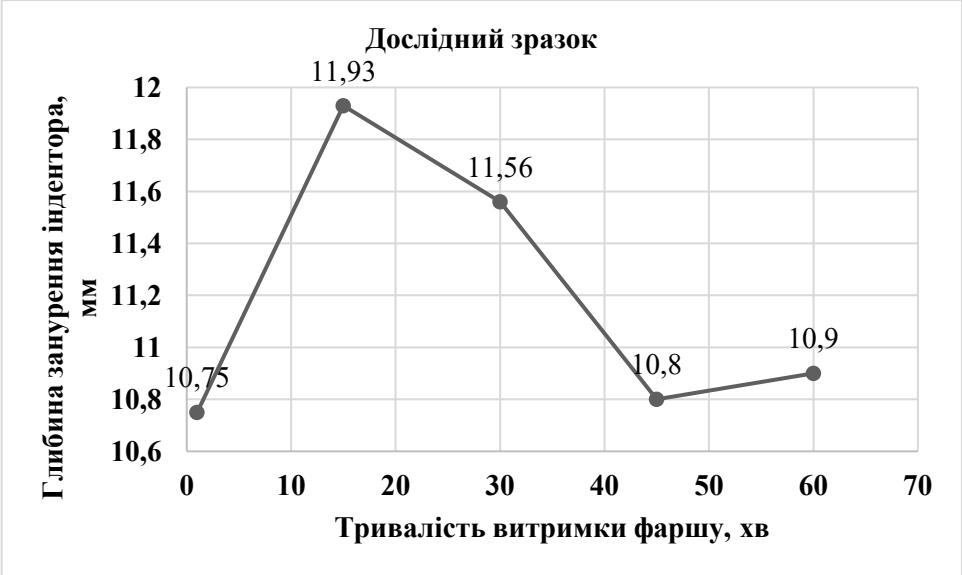

Рисунок 7. Зміна пенетрації в залежності від тривалості дії закваски на фарш, мм

Проведені дослідження показали, що показник пенетрації при початковому значенні 10,75 мм підвищується до рівня 11,56 мм в процесі 30-хвилинної витримки, при подальшій витримці протягом ще 30 хвилин (разом 60 хв) показник пенетрації знижується до 10,9 мм, що показало, що витримка більше 30 хв є недоцільною.

Вплив обраних рецептурних інгредієнтів на структуру, їх взаємозв'язок у фаршевій системі та утворення певної консистенції продукту можна дослідити та підтвердити визначенням пенетрації. Граничне напруження зсуву характеризує консистенцію фаршевої системи, а пенетраційна напруга – готового продукту. Отримані дані пенетрації фаршу та готового продукту наведені в табл. 6 та 7.

Таблиця 6. Пенетрація фаршу

Досліджувані зразки	Показник	
	Глибина занурення конічного індентора, мм	Граничне напруження зсуву, кПа
Контроль	9,7	4,5
Дослід	14,63	2,0

Таблиця 7. Пенетрація готового продукту

Досліджувані зразки	Показник	
	Глибина занурення конічного індентора, мм	Пенетраційна напруга, кПа
Контроль	6,6	9,6
Дослід	11,02	3,5

Перерахунок значення пенетрації фаршевої системи в значення граничної напруги зсуву та для готового продукту в значення пенетраційної напруги показав, що ферментація м'яса та додавання гарбузової олії забезпечило більш ніжну консистенцію готовим сосискам, що

підтверджено набагато нижчим показником пенетраційної напруги порівняно з контрольним зразком сардельок (табл. 6, 7). Проведені дослідження Türkan Uzlaşır et al. (2020) у виробництві варених ковбас із заміною тваринного жиру на гарбузову олію показали її вплив на покращення сенсорних показників ковбас.

М'ясо є важливим у харчуванні людини, забезпечуючи її організм необхідними мікронутрієнтами та білками. Але найціннішим елементом їжі, зокрема м'яса, є амінокислоти.

Амінокислотний склад готових сардельок представлено в таблицях 8 та 9.

Таблиця 8. Амінокислотний склад контрольного зразка сардельок

Назва амінокислоти	**Концентрація мг/ 100 г**	**Скор, %**	**Еталонний білок мг/100 г**
1	2	3	4
Аланін	1,333		
Аргінін	1,919		
Аспарагінова кислота	2,177		
Валін*	1,226	24,52	5,0
Гістидин	1,413		
Гліцин	0,979		
Глутамінова кислота	3,472		
Ізолейцин*	1,236	30,9	4,0
Лейцин*	1,96	28	7,0
Лізин*	2,363	42,96	5,5
Метіонін*	0,03	0,85	3,5
Пролін	0,594		
Серин	0,813		
Тирозин	0,178		
Треонін*	1,022	25,55	4,0
Триптофан*	0,59	59	1,0
Фенілаланін*	0,938	15,63	6,0
Всього	22,243		

Таблиця 9. Амінокислотний склад дослідного зразка сардельок

Назва амінокислоти	**Концентрація мг/ 100 г**	**Скор, %**	**Еталонний білок мг/100 г**
1	2	3	4
Аланін	1,19		
Аргінін	1,582		
Аспарагінова кислота	1,75		
Валін*	0,964	19,28	5,0
Гістидин	1,499		
Гліцин	0,891		
Глутамінова кислота	2,792		
Ізолейцин*	1,072	26,8	4,0
Лейцин*	1,729	24,7	7,0
Лізин*	1,925	35	5,5
Метіонін*	0,033	0,94	3,5
Пролін	0,355		
Серин	0,685		
Тирозин	0,327		
Треонін*	0,844	21,1	4,0
Триптофан*	0,579	57,9	1,0
Фенілаланін*	0,763	12,71	6,0
Всього	18,98		

Таке зменшення (на 3,26 мг) кількості амінокислот в дослідному зразку готового продукту можна пояснити більшим (на 13,6%) вмістом м'ясної сировини в складі контрольної рецептури. Однак слід відмітити, що кількість амінокислот незначно відрізняється в дослідному зразку від контрольного. На основі отриманих результатів досліджень маємо припущення, що слід використовувати закваску більшої концентрації, тобто розведення закваски проводити в 1 л молока, а не в 3 л, як це було проведено нами, що дасть можливість підвищити кількість амінокислот.

Для оцінки якості та безпечності сардельок важливим є визначення мікробіологічних показників. Нами були проведені мікробіологічні дослідження сардельок після виготовлення через 24 години та через 48 годин зберігання за температури 0-6 ºС. Результати досліджень наведені в табл. 10.

Таблиця 10. Мікробіологічні показники сардельок

Найменув.	**МАФАнМ, КУО в 1 г продукту, не більше**	**БГКП в 1 г**	**Патогенні м.о., зокрема бактерії роду *Salmonella*, в 25 г**	***Listeria mono-cytogenes*, в 25г**	***Staphylococcus aureus*, в 1 г продукту**	**Сульфіт-редукувальні клостридії, в 0,01 г**
Згідно ДСТУ 4436:2005	Не більше $1{,}0 \cdot 10^3$	не дозв.	не дозв.	не дозв.	не дозв.	не дозв.
Через 24 год після виготовлення, t = 0-6 ºС						
Контроль	$1{,}0 \cdot 10^2$	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
Дослід	$0{,}3 \cdot 10^2$	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
Через 48 год після виготовлення, t = 0-6 ºС						
Контроль	$1{,}0 \cdot 10^3$	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено
Дослід	$0{,}5 \cdot 10^2$	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено	не виявлено

За результатами досліджень сардельок, як через 24 години, так і в процесі зберігання протягом 48 годин за температури 0÷6 ºС, можна відзначити, що розроблені зразки сардельок відповідають вимогам ДСТУ 4436:2005 «Ковбаси варені, сосиски, сардельки, хліби м'ясні. Загальні технічні умови».

Крім того, дослідні зразки сардельок з додаванням закваски, висівок вівса та гарбузової олії мали кращі мікробіологічні показники в порівнянні з контролем. Це пояснюється тим, що присутні молочнокислі бактерії в заквасці володіють антигонічною дією на патогенні та умовно-патогенні мікроорганізми Coppola et al. (2025) при вивченні впливу рослинних олій на ферментацію м'яса з буйволів вибрали гарбузову олію за її антимікробні та антиоксидантні властивості, оцінили взаємодію зі стартовими культурами і отримали стабільні сухоферментовані м'ясні продукти підвищеної харчової, сенсорної якості та підвищених показників безпечності.

ВИСНОВКИ. В результаті проведеного дослідження встановлено вплив заквасок на величину pH м'ясної системи, яка змінюється після 30-хвилинної витримки фаршу з закваскою в кислу сторону.

Дослідження амінокислотного складу фаршу з закваскою після 30-хвилинної витримки дало змогу вивільнити амінокислоти з білка та підвищити їх кількість на 0,057 мг/100 г, в тому числі незамінних на 0,0243 мг/100 г порівняно з фаршем без витримки.

Дослідження підтвердили взаємозв'язок між значенням пенетрації та активної кислотності фаршу з використанням закваски за 30-хвилинної витримки: при зниженні pH показник пенетрації підвищується і навпаки; при початковому показнику пенетрації 10,75 мм він підвищується до рівня 11,56 мм в процесі 30-хвилинної витримки, в той час як значення pH з 5,64 знижується до 5,45; при подальшій витримці ще протягом 30 хвилин показник пенетрації знижується до 10,9 мм, а значення pH знову підвищується до початкового значення 5,64, що показує недоцільність витримки більше 30 хв.

Мікробіологічні показники розроблених сардельок кращі, що дає можливість продовжити терміни зберігання готових продуктів із збереженням високих якісних показників.

Дані дослідження мають перспективи у збільшенні концентрації використовуваної закваски для підвищення розщеплення білків до амінокислот та підвищення біодоступності такої системи.

References

Abdul Hakim, B.N.; Xuan, N.J.; Oslan, S.N.H. A. (2023). Comprehensive review of bioactive compounds from lactic acid bacteria: Potential functions as functional food in dietetics and the food industry. *Foods*, 12, 2850. https://doi.org/10.3390/foods12152850

Ayyildiz, H. F., Topkafa, M., Kara, H. (2019). Pumpkin (*Cucurbita pepo L.)* seed oil. In M. F. Ramadan (Ed.), *Fruit Oils: Chemistry and Functionality* (pp. 765-788). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-030-12473-1

Ball, J. J., Wyatt, R. P., Coursen, M. M., Lambert, B. D., Sawyer, J.T. (2021). Meat Substitution with Oat Protein Can Improve Ground Beef Patty Characteristics. Foods. 10(12), 3071. https://doi.org/10.3390/foods10123071

Bal-Prylypko, L.V., Ustymenko, I.M., Israelian, V.M., Danylenko, S.H. Kovalenko, R.B., Nazarenko, M.V. (2026). Justification of boiled sausage technology with increased protein content. *Journal of Chemistry and Technologies,* 34(1), 226-236. https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-367- 15

Bhaltacharia, D.; Nanda, P.K.; Pateiro, M.; Lorenzo, J.M.; Dhar, P.; Das, A.K. (2022). Lactic acid bacteria and bacteriocins: Novel biotechnological approach for biopreservation of meat and meat products. *Microorganisms,* 10, 2058. https://doi.org/10.3390/microorganisms10102058

Bis-Souza, C.V., Penna, A.L.B. & da Silva Barretto, A.C. (2020). Applicability of potentially probiotic *Lactobacillus casei* in low-fat Italian type salami with added fructooligosaccharides: in vitro screening and technological evaluation. *Meat Science,* 168. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108186

Blaiotta, G., Murru, N., Di Cerbo, A., Romano, R. & Aponte, M. (2018). Production of probiotic bovine salami using *Lactobacillus plantarum* 299v as adjunct. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98, 2285–2294. https://doi.org/10.1002/jsfa.8717

Carneiro, K.O., Campos, G.Z., Lima, J.M.S., Rocha, R. da S., Vaz-Velho, M., Todorov, S.D. (2024). The Role of Lactic Acid Bacteria in Meat Products, Not Just as Starter Cultures. *Foods,* 13(19), 3170. https://doi.org/10.3390/foods13193170

Cavalheiro, C.P., Ruiz-Capillas, C., Herrero, A.M. & Pintado, T. (2021). Dry-fermented sausages inoculated with Enterococcus faecium CECT 410 as free cells or in alginate beads. *Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie*, 139, 110561. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110561

Cocolin, L. (2024). Microbial bioprotection: An opportunity to improve safety and quality of meat products in a sustainable way. *Meat Sci,* 1099576. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2024.109576

Coppola, F., Nazzaro, F., Fratianni, F., Lombardi, S.J., Grazia, L., Coppola, R. and Tremonte, P. (2025). Pumpkin Oil and Its Effect on the Quality of Naples-Style Salami Produced from Buffalo Meat. *Foods*, 14(6), 1077. https://doi.org/10.3390/foods14061077

Danylenko, S., Nedorizanyuk, L., Potemska, O., Korol, Ts., Ivaniuta, A., Kryzhova, Yu., Israelian, V., Kovalenko, N. (2024). Improvement of the quality of pork meat during salting due to the use of starter bacterial cultures. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 18, 239-250.

Decker, E. A, Park Ye. (2010). Healthier meat products as functional foods. *Meat Science,* 86 (1), 49-55. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2010.04.021

Domínguez, R., Munekata, P.E., Pateiro, M., López-Fernández, O. & Lorenzo, J.M. (2021). Immobilization of oils using hydrogels as strategy to replace animal fats and improve the healthiness of meat products. *Current Opinion in Food Science*, 37, 135–144. https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.10.005

Helikh, A. O. (2025). Study of the quality parameters of sauces using alternative proteins for military nutrition. *Tavriiskyi Naukovyi Visnyk,* (1). https://doi.org/10.32782/tnv-tech.2025.1.29.

Kolianovska, L. M. (2016). Development of the production of dry-cured sausages for functional purposes. *Proceedings of Tavria State Agrotechnological University*, 16(1), 83–89. http://ir.polissiauniver.edu.ua/handle/123456789/17416

Kong, Y.-W., Feng, M.-Q. & Sun, J. (2020). Effects of *Lactobacillus plantarum* CD101 and *Staphylococcus simulans* NJ201 on proteolytic changes and bioactivities (antioxidant and antihypertensive activities) in fermented pork sausage. LWT, 133, 109985. http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109985

Kryzhak, L. M., Semko, T. V., & Ivanishcheva, O. A. (2023). Study of the specific features of using probiotic strains in the technology of fermented meat products. Scientific Bulletin of Tavria State Agrotechnological University. *Food Technologies,* 13(1). https://doi.org/10.31388/sbtsatu.v13i1.370

Kryzhova, Yu., Slobodyanyuk, N., Moskalenko, I. (2023). Application of modern technologies to improve the quality of sausage products. *Animal Science and Food Technology,* 14(1), 49-64. https://doi.org/110.31548/animal.1.2023.49

Kryzhova,Yu., Slobodyanyuk, N. (2025). Improvement of the technology of meat rolls with increased protein content. *Rood Resources*, 13(24), 138-150. https://doi.org/10.31073/foodresources2025-24-16

Laranjo, M., Potes, M. E., Elias M. (2019). Role of Starter Cultures on the Safety of Fermented Meat Products. *Frontiers in Microbiology*, 10, 1-11. https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.00853

Mishra, B.P., Mishra, J., Paital, B., Rath, P.K., Jena. M.K., Reddy, B. V. V., Pati, P. K., Panda, S. K., Sahoo, D. K. (2023). Properties and physiological effects of dietary fiber-enriched meat products: a review. Frontiers in Nutrition. 10:1275341. https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1275341

Munekata, P.E.S., Pateiro, M., Zhang, W., Domínguez, R., Xing, L., Fierro, E.M. et al. (2020). Autochthonous probiotics in meat products: selection, identification, and their use as starter culture. *Microorganisms*, 8, 1–20. https://doi.org/10.3390/microorganisms8111833

Najjari, A., Boumaiza, M., Jaballah, S., Boudabous, A. & Ouzari, H.I. (2020) Application of isolated *Lactobacillus sakei* and *Staphylococcus xylosus strains* as a probiotic starter culture during the industrial manufacture of Tunisian dry-fermented sausages. *Food Sciences and Nutrition,* 8, 4172-4184. https://doi.org/10.1002/fsn3.1711

Neffe-Skocińska, K., Okoń, A., Zielińska, D., Szymański, P., Sionek, B. & Kolozyn-Krajewska, D. (2020). The possibility of using the probiotic starter culture *Lacticaseibacillus rhamnosus* LOCK 900 in dry fermented pork loins and sausages produced under industrial conditions. *Applied Sciences,* 10. https://doi.org/10.3390/app10124311

Obayomi, O.V.; Olaniran, A.F.; Owa, S.O. (2024). Unveiling the role of functional foods with emphasis on prebiotics and probiotics in human health: A review. *J. Funct. Foods*, 119, 106337. https://doi.org/10.1016/j.jff.2024.106337

Oliveira, W.A., Rodrigues, A.R.P., Oliveira, F.A., Oliveira, V.S., Laureano-Melo, R., Stutz, E.T.G.e t al. (2021). Potentially probiotic or postbiotic pre-converted nitrite from celery produced by an axenic culture system with probiotic lacticaseibacilli strain. *Meat Science,* 174. https://dx.doi.org/10.1016/j.meatsci.2020.108408

Oshchypok, I. M. (2016). Development of meat products with the use of protein containingherbal supplements. *Bulletin of LUTE. Technical Sciences Lviv Academy of Commerce* 16, 90-95.

Özbaş, Ö. Ö., Ardıç, M. (2016). Dietary Fibers as Functional Ingredients in Meat Products. *Harran university journal of the faculty of veterinary medicine.* 5 (2).

Pablo Ayuso, Pascual García-Pérez, Gema Nieto (2025). New Insights and Strategies in the Nutritional Reformulation of Meat Products Toward Healthier Foods. *Molecules,* 30(12) https://doi.org/10.3390/molecules30122565

Pavli, F.G., Argyri, A.A., Chorianopoulos, N.G., Nychas, G.J.E. & Tassou, C.C. (2020). Effect of *Lactobacillus plantarum* L125 strain with probiotic potential on physicochemical, microbiological and sensorial characteristics of dry-fermented sausages. *LWT*, 118, 108810.

Pilevar, Z.; Hosseini, H.; Beikzadeh, S.; Khanniri, E.; Alizadeh, A.M. (2020). Application of bacteriocins in meat and meat products: An update. *Curr. Nutr. Food Sci,* 16, 120-133. https://doi.org/10.2174/1573401314666181001115605

Roselino, M.N., de Almeida, J.F., Canaan, J.M.M., Pinto, R.A., Ract, J.N.R., de Paula, A.V. et al. (2017). Safety of a low-fat fermented sausage produced with *Enterococcus faecium* CRL 183 and *Lactobacillus acidophilus* CRL1014 probiotic strains. *International Food Research Journal*, 24 (6), 2694–2704.

Serdaroğlu, M., Nacak, B., Karabıyıkoğlu, M., Tepe, M., Baykara I. and Kökmen, Y. (2017). Effects of replacing beef fat with pre-emulsified pumpkin seed oil on some quality characteristics of model system chicken meat emulsions. *59th International Meat Industry Conference MEATCON2017. IOP Publishing.* https://doi.org/10.1088/1755-1315/85/1/012045

Shynkaruk, M. V., & Baluk, O. O. (2021). Prospective starter cultures for craft sausage products. *Tavriiskyi Naukovyi Visnyk*, (5), 38–48. https://doi.org/10.32851/tnv-tech.2021.5.6

Silva1, H. L., Pires, P.G.S., Lima, A.L.F., Cristofolini, A.Ch., Netto, D.P., Miotto, M., Hauptli, L., Moraes, P.O. (2024). Effect of oat bran fiber on physicochemical properties and acceptance of enriched rabbit meat burgers. *Acta Scientiarum. Animal Sciences*. 46.https://doi.org/10.4025/actascianimsci.v46i1.64264

Song, M.Y., Van-Ba, H., Park, W.S., Yoo, J.Y., Kang, H.B., Kim, J.H. et al. (2018). Quality characteristics of functional fermented sausages added with encapsulated probiotic Bifidobacterium longum KACC 91563. *Korean Journal of Food Science and Animal Resources,* 38, 981–994. https://doi.org/10.5851/kosfa.2018.e30

State Committee of Ukraine for Technical Regulation and Consumer Quality. (2005). Cooked sausages, frankfurters, wieners, meat loaves. General specifications (DSTU 4436:2005). State Standard of Ukraine.

Sun, F., Hu, Y., Yin, X., Kong, B. & Qin, L. (2020). Production, purification and biochemical characterization of the microbial protease produced by Lactobacillus fermentum R6 isolated from Harbin dry sausages. *Process Biochemistry,* 89, 37–45. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.10.029

Sychevskyi, M. (2016). Scientific substantiation of the development of biotechnology in the food industry. *Food Resources,* 4(7), 9–14.

Talukder, S. (2015). Effect of dietary fiber on properties and acceptance of meat products: A Review, *Critical reviews in food science and nutrition*, 55:7, 1005-1011. http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2012.682230

Topchii O., Buyachok T., Kryzhova Yu., Chernyushok O., Shubina Ye. (2025). The use of vegetable fiber in the technology of meat pates as a factor in increasing the nutritional value and stability of the product. *Human and nation's health,* 4, 84-98. https://doi.org/10.31548/humanhealth.4.2025.84

Topchii, O., Kotliar, Ye., Honcharenko, T., Petryna, A., Tarasiuk, O. (2019). Use of oilseed polyfunctional supplements in the manufactureof meat products. *Food science and technology.* 13(2). 78-86. https://dx.doi.org/10.15673/fst.v13i2.1384

Türkan Uzlaşır, Nesimi Aktaş and Kamil Emre Gerçekaslan (2020). Pumpkin Seed Oil as a Partial Animal Fat Replacer in Bologna-type Sausages. *Food Science of Animal Resources,* 40(4):551-562. https://doi.org/10.5851/kosfa.2020.e32

Ursachi, C. Ș., Perța-Crișan, S., Munteanu F.-D. (2020). Strategies to Improve Meat Products' Quality. *Foods,* 9(12), 1883; https://doi.org/10.3390/foods9121883

Verbytskyi, S. B., Moiseieva, L. O., Voitsekhivska, L. I., Patsera, N. M., & Bilukha, H. M. (2025). Evaluation of the use of milk proteins in sausage production, in particular for the formation of textured protein structures. *Food Resources*, 13 (24), 119-130. https://doi.org/10.31073/foodresources2025-24-13

Voytsekhivska, L., Borsolyuk, L., Schelkova, T., Gavrylenko, A. Researchof the effect of bacterial preparation "lrr" on the functional and technological parameters of meat during curing process (2018). *Food Resources,* 6(11), 41–47. https://doi.org/10.31073/foodresources2018-11-05

УДК: 664.07:005.334
https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2026.114

ОЦІНКА РИЗИКІВ ДЛЯ БЕЗПЕЧНОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ МЕТОДОМ МАТРИЦІ РИЗИКІВ

Тетяна Вікторівна Бровенко
Кандидат технічних наук, доцент
https://orcid.org/0000-0003-1552-2103
Ярослав Віталійович Кошелев
Магістрант
https://orcid.org/0009-0004-4289-9402
Національний університет біоресурсів і природокористування України
03041, вул. Виставкова, 16 м. Київ, Україна

Анотація. Інциденти, пов'язані з безпечністю харчових продуктів, становлять серйозну загрозу для здоров'я населення, а система управління безпечністю потребує науково обґрунтованого інструментарію оцінювання ризиків. Метою дослідження є оцінювання ризиків для безпечності харчових продуктів за п'ятьма аспектами – категорії харчових продуктів, області України, суб'єкти інциденту, причини, джерела забруднення – та обґрунтування заходів управління безпечністю.

На основі бази даних інцидентів, сформованої з офіційних повідомлень Держпродспоживслужби України за період з 2022 року до першого півріччя 2026 року, застосовано метод матриці ризиків у поєднанні з методом Borda. До бази увійшли 224 спалахи, зареєстровані у 2022–2025 роках, та дані за перше півріччя 2026 року. Результати. Визначено моделі ризику та виконано статичну оцінку ризиків за п'ятьма аспектами. П'ятьма найвищими категоріями ризику є м'ясо та м'ясні продукти, риба та рибна продукція, овочева та молочна продукція, консерви домашнього приготування. Кількість зареєстрованих спалахів зросла з 39 у 2022 році до 67 у 2025 році (приблизно на 72%), що свідчить про підвищення епідеміологічного навантаження; ризики демонструють зростаючу тенденцію, причому 2024 та 2025 роки мали найвищі рейтинги. Найвищі рейтинги серед регіонів мають Львівська, Одеська області та м. Київ; серед суб'єктів господарювання – локальні продуктові магазини, загальнодоступні заклади харчування, заклади харчування при закладах освіти та стихійні ринки; головними причинами є неефективне управління, зношеність виробничого обладнання, людська помилка та недотримання технологій; серед джерел забруднення домінують мікробіологічний та хімічний чинники.

Практичне значення. Результати створюють наукову основу для розроблення заходів запобігання та контролю ризиків, пріоритизації інспекційного ресурсу та оптимізації системи управління безпечністю харчових продуктів в Україні. Впровадження запропонованих заходів дасть змогу знизити кількість інцидентів та захистити здоров'я і добробут населення.

***Ключові слова**:* ризик-орієнтований підхід, харчова продукція, метод Borda, управління ризиком, матриця ймовірності та наслідків.

UDC: 664.07:005.334
https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2026.114

RISK ASSESSMENT FOR FOOD SAFETY USING THE RISK MATRIX METHOD

Tetyana Brovenko
Candidate of Technical Sciences, Associate Professor
https://orcid.org/0000-0003-1552-2103

 Creative Commons Attribution 4.0 International Public License

Yaroslav Koshelev
Postgraduate student
https://orcid.org/0009-0004-4289-9402
National University of Life Resources and Environmental Sciences of Ukraine
03041, 16 Vystavkova St., Kyiv, Ukraine

Abstract. Food safety incidents pose a serious threat to public health, and the food safety management system requires a scientifically grounded risk assessment toolkit. The aim of the study is to assess food safety risks across five aspects – food product categories, regions of Ukraine, entities involved in incidents, causes, and sources of contamination – and to substantiate food safety management measures. Methods. Based on an incident database compiled from official reports of the State Service of Ukraine on Food Safety and Consumer Protection for the period from 2022 to the first half of 2026, the risk matrix method combined with the Borda method was applied. The database includes 224 outbreaks registered in 2022–2025, as well as data for the first half of 2026. Results. Risk models were identified, and a static risk assessment was performed across five aspects. The five highest-risk food product categories are meat and meat products, fish and fish products, vegetable and dairy products, and home-canned products.

The number of registered outbreaks increased from 39 in 2022 to 67 in 2025 (approximately 72%), indicating a growing epidemiological burden; risks also trend upward, with 2024 and 2025 ranking highest. The highest-ranked regions are Lviv, Odesa, and the city of Kyiv; the highest-ranked business entities are local grocery stores, public catering establishments, food service establishments at educational institutions, and informal markets; the main causes are ineffective management, production equipment wear, human error, and non-compliance with technologies; among contamination sources, microbiological and chemical hazards dominate.

The results provide a scientific basis for developing risk prevention and control measures, prioritizing inspection resources, and optimizing the food safety management system in Ukraine. Implementing the proposed measures will reduce the number of incidents and protect public health and well-being.

Keywords: risk-based approach, food products, Borda method, risk management, probability and consequence matrix.

ВСТУП. Безпечність харчових продуктів є однією з важливих проблем, що безпосередньо впливають на здоров’я та якість життя населення. За визначенням Всесвітньої організації охорони здоров’я (ВООЗ), безпечність харчових продуктів охоплює сукупність умов і заходів, необхідних на всіх етапах харчового ланцюга – від виробництва та перероблення до зберігання, реалізації та приготування, – спрямованих на забезпечення їх безпечності для споживання.

В останні роки проблеми з безпекою харчових продуктів виникали часто, проблема довіри до безпечності харчових продуктів стає дедалі серйознішою. Нещодавно запущена європейська ініціатива FoodSafeR як спільний та скоординований підхід до виявлення, оцінки та управління новими проблемами продовольчої безпеки та пов'язаними з ними ризиками. Головною метою проекту FoodSafeR, який розпочався у жовтні 2022 року та фінансується Європейською Комісією, є виявлення, оцінка та управління новими хімічними та мікробіологічними ризиками для безпечності харчових продуктів. Одним із перших заходів FoodSaferR була організація семінару, учасниками якого стали міжнародні експерти у сфері мікробіологічної та хімічної безпечності харчових продуктів, небезпек для безпечності харчових продуктів та оцінки ризиків з міжнародних установ, університетів та регуляторних органів. Центр FoodSafeR постійно збирає та об'єднує дані уряду, академічних кіл та приватного сектору, щоб усі зацікавлені сторони могли краще розуміти ризики. Загальна мета полягає в покращенні глобального обміну даними, покращенні стандартів безпечності харчових продуктів та забезпеченні виробництва безпечних, доступних продуктів харчування

для всього населення, тим самим зменшуючи економічний тягар харчових отруєнь, підвищуючи продовольчу безпеку та сприяючи розвитку стійких продовольчих систем (Leslie et al., 2025).

Для захисту здоров'я споживачів, сприяння справедливій торгівлі харчовими продуктами та координації стандартів харчової безпеки у світі, Продовольча та сільськогосподарська організація ООН (Food and Agriculture Organization (FAO,n.d.) та World Health Organization (WHO, n.d.) спільно створили Комісію з Кодексу Аліментаріус (CAC) у 1963 році. Наприкінці 1980-х років Комісія з Кодексу Аліментаріус запропонувала проводити оцінку ризиків для безпечності харчових продуктів, яка використовується для виявлення небезпек, що можуть впливати на здоров'я людини, та управління ризиками в процесі прийняття рішень щодо харчових продуктів заздалегідь, надаючи наукову підтримку даних для прийняття та вдосконалення рішень щодо нагляду за якістю харчових продуктів.

Україна офіційно приєдналася до Комісії з Кодексу Аліментаріус у 2004 році (Про затвердження Положення про Національну комісію із зводу харчових продуктів Кодекс аліментаріус та її персонального складу, 2006). У 2006 – 2015 рр. створено Національну комісію України з Кодексу Аліментаріус - консультативно-дорадчий орган з питань безпечності та якості харчових продуктів. Нині процеси інтеграції стандартів відбуваються через профільні міністерства (Міністерство охорони здоров'я та Міністерство аграрної політики) та Держпродспоживслужбу. Закон України «Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» прийнятий 23 грудня 1997 року за номером № 771/97-ВР. (Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів, 2026). Закон зазнавав багатьох суттєвих змін, прийнято за період з 2014 року до 2026 року близько 30 пакетів змін. У 2014 році ухвалено масштабну європейську редакцію (Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо харчових продуктів, 2025), яка повністю перебудувала систему контролю за принципом «від лану до столу» та зобов'язала впроваджувати систему НАССР. У 2017–2018 роках Закон адаптували під новий державний контроль (Про державний контроль за дотриманням законодавства про харчові продукти, корми, побічні продукти тваринного походження, ветеринарну медицину та благополуччя тварин, 2026) та вимоги щодо інформації для споживачів. За 2020–2023 роки зміни вносилися через масштабну цифровізацію державних реєстрів, оптимізацію дозвільних процедур, адаптацію до умов воєнного стану та вдосконалення продовольчої безпеки. Коригування 2024-2026 років пов’язані з виконанням умов для вступу України до ЄС та гармонізацією санітарних і фітосанітарних норм.

З моменту впровадження Про основні принципи та вимоги до безпечності та якості харчових продуктів» Україна сформулювала та оприлюднила велику кількість національних стандартів безпечності харчових продуктів. Використовуючи оцінку ризиків як наукову основу та враховуючи розвиток харчової промисловості, Україна рухається шляхом системної гармонізації та прямого визнання міжнародних норм. Структура встановленої системи стандартів безпечності харчових продуктів тісно узгоджується зі стандартами Комісії Кодексу Аліментаріус.

Частина документів Кодексу адаптована як національні стандарти з позначкою методичних настанов (наприклад, ДСТУ-Н CODEX STAN 192:2014 щодо харчових добавок). Проте Кодекс Аліментаріус містить понад 200 специфікацій на продукти та більш ніж 120 настанов, тому Україна інтегрує їх через загальні технічні регламенти та Санітарні норми МОЗ України. Головний процедурний стандарт Кодексу щодо управління безпечністю – Codex Alimentarius CXC 1-1969 (містить 12 кроків та 7 принципів НАССР) – повністю впроваджено в українське законодавство. Наказ Мінагрополітики № 590 робить його обов'язковим для всіх вітчизняних виробників (Про затвердження Вимог щодо розробки, впровадження та застосування постійно діючих процедур, заснованих на принципах Системи управління безпечністю харчових продуктів (НАССР), 2015).

Оцінка ризиків може забезпечити безпеку харчових продуктів, оцінити ризики для безпечності харчових продуктів та запобігти повторенню інцидентів, пов'язаних з безпекою харчових продуктів. Оцінка ризиків для безпечності харчових продуктів – це науковий процес, спрямований на виявлення небезпек у ланцюжку постачання харчових продуктів та оцінку потенційних наслідків для здоров'я людини внаслідок впливу таких небезпек. Регламент (ЄС) № 178/2002 – це фундаментальний закон Європейського Союзу про безпечність харчових продуктів («General Food Law»), який закладає основу для всього харчового законодавства ЄС за принципом «від лану до столу» (from farm to fork). (Регламент Європейського Парламенту і Ради (ЄС) № 178/2002 від 28 січня 2002 року про встановлення загальних принципів і вимог харчового права, створення Європейського органу з безпечності харчових продуктів та встановлення процедур у питаннях, пов'язаних із безпечністю харчових продуктів, 2002).

Стаття 6 регламенту закладає аналіз ризику (Risk Analysis) як основоположний принцип харчового законодавства, що вимагає чіткого розмежування наукової оцінки та прийняття політико-регуляторних рішень. Оцінка ризику - науково обґрунтований процес (стаття 3, п. 11), складається з чотирьох обов'язкових етапів. Ідентифікація небезпек, здатних спричинити негативний вплив на здоров'я. Характеристика небезпеки – це якісна та/або кількісна оцінка природи несприятливих наслідків для здоров'я. Оцінка експозиції / впливу та характеристика ризику, тобто фінальне інтегрування даних для оцінки ймовірності виникнення, частоти та тяжкості потенційних шкідливих ефектів з урахуванням ступеня наукової невизначеності. Управління ризиком – процес відокремлений від оцінки ризику (стаття 3, п. 12), метою якого є розробка та впровадження регуляторних і контрольних заходів. Важливим результатом є встановлення максимально допустимих рівнів (MRL) забруднювачів, розробка стандартів маркування, відкликання продукції з ринку або встановлення нових гігієнічних вимог. Комунікація ризику – це безперервний та інтерактивний процес обміну інформацією протягом усього циклу аналізу (стаття 3, п. 13). Учасниками є науковці, управлінці, оператори ринку, споживачі.

Ризик для безпечності харчових продуктів стосується ймовірності заподіяння шкоди здоров'ю людини під час виробництва, переробки, зберігання та споживання харчових продуктів через токсичні або шкідливі речовини, або технологічні чи управлінські фактори під час ведення бізнесу (Yu et al., 2024). Вчені зазначають, що незалежно від того, яка ланка ланцюга постачання харчових продуктів, яка частина регуляторного органу, які фактори небезпеки, яка категорія продуктів харчування матимуть різний вплив на безпеку харчових продуктів, що призведе до певних ризиків. Матриця ризиків широко визнана завдяки своїй простоті впровадження та широко застосовується для визначення пріоритетів ризиків у різних галузях. Матрицю ризиків використовують для ранжування та визначення пріоритетів ризиків, щоб допомогти у визначенні стратегії управління ризиками (Sushko & Cheberiachko, 2023). Підхід для побудови матриці ризиків складається з трьох основних етапів: визначення термінів та поняття матриці ризиків і їх розуміння; визначення значення шкали частоти та тяжкості наслідків небезпечної події з повним розумінням вимог до їх визначення та використання; визначення критеріїв оцінки ризиків відповідно до стандартів, законів, політик, досвіду та інших вимог. Не існує єдиного найкращого методу ранжування ризиків. У матриці ризиків кілька факторів ризику одного рівня ризику можуть мати різну важливість. Тому важливість кількох факторів ризику ранжується для визначення величини ризику різних факторів ризику в межах одного рівня ризику. Метод Borda може сприяти просуванню та популяризації підходу матриці ризиків (Yu et al., 2024)

Отже, проблема оцінки ризиків безпечності харчових продуктів полягає в необхідності пошуку ефективних методів для наукового обґрунтування, оптимізації технологічних рішень, підвищення ефективності управлінських рішень, використовуючи при цьому сучасні валідні методи. Розв'язання цих проблем дозволить забезпечити науково обґрунтовану інформаційну підтримку прийняття та вдосконалення рішень у сфері контролю за безпечністю харчових продуктів

Об'єкт дослідження – ризики для безпечності харчових продуктів у системі харчового ланцюга.

Предмет дослідження – методичний підхід до оцінювання, ранжування та пріоритизації ризиків п'яти аспектів: категорії харчових продуктів, області України, суб'єкти інциденту, причини, джерела забруднення для безпечності харчових продуктів із використанням матриці ризиків.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ. Розроблення та наукове обґрунтування підходу до оцінювання ризиків для безпечності харчових продуктів із використанням матриці ризиків та їх подальшої пріоритизації для підвищення обґрунтованості управлінських рішень щодо запобігання та контролювання ризиків.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. У статтях зарубіжних авторів приділено значну увагу управлінню ризиками безпечності харчових продуктів на харчових підприємствах. Для ефективного запобігання та контролю ризиків безпеки для споживачів використовуються різні методологічні та інструментальні підходи. Науковцями (Chen et al., 2023) використано модель HFACS для аналізу обстежених харчових підприємств. Створено механізм управління поведінкою харчових підприємств у Пекіні щодо ризику безпечності харчових продуктів за принципом «одна вісь та чотири виміри». Взявши ці підприємства за «вісь» механізму управління, всередині них сформовано середовища: духовне середовище «визначення відповідальності та самодисципліни поведінки», інституційне середовище «спільного будівництва механізмів, самоінспекції та взаємної інспекції», середовище самоінспекції «регулярної оцінки та нормальної підзвітності», а також середовище «управління доброчесністю та продовольчою безпекою». Науковці прогнозують, що середовище відіграє стабільну роль «державного нагляду як провідної ролі», «керівництва галузевої асоціації як центру», «споживчого нагляду як орієнтира», «участі ЗМІ як підтримки» та «чотиристороннього запобігання та контролю» поза підприємством для практики управління ризиками безпечності харчових продуктів у харчовій промисловості.

У роботах дослідники все частіше звертають увагу на застосування різних інформаційних технологій для розробки систем ідентифікації та відстеження ризиків у режимі реального часу (RITS) для кращої гарантії безпечності харчових продуктів. Науковцями (Kong et al., 2021) представлено інноваційний підхід, що використовує метод мережі глибокого укладання для ідентифікації небезпечних ризиків, який спирається на масивні багатоджерельні дані. Мета методу полягає в тому, щоб допомогти менеджерам та операторам харчових підприємств заздалегідь визначити точні рівні ризику для безпечності харчових продуктів та надати регуляторним органам і споживачам потенційні правила для кращого прийняття рішень, тим самим підтримуючи безпеку та стійкість постачання харчових продуктів.

Особливий акцент здійснюється (Belluco et al., 2025) на сприйняття ризику споживачами, пов'язаного з харчовими продуктами, оскільки воно значною мірою формує ставлення споживачів. Науковцями проведено багатонаціональне опитування, для отримання розуміння сприйняття європейськими громадянами ризиків щодо безпечності харчових продуктів. У цьому дослідженні тисяча громадян з п'яти європейських країн (Італії, Франції, Польщі, Німеччини та Швеції) взяли участь в онлайн-опитуванні кількісного дослідження. В опитуванні використовувалася структурована анкета, що проводилася методом комп'ютерного веб-інтерв'ю (CAWI). Отримана інформація сформувала цінні знання, оскільки низьке сприйняття ризику пов'язане з високим рівнем споживання; таким чином, для зменшення впливу сирих молочних продуктів на здоров'я, менеджери з управління ризиками повинні планувати та проводити комунікаційні кампанії, спрямовані на підвищення обізнаності споживачів щодо ризиків для безпечності харчових продуктів.

Комплексний підхід до управління ризиками сприяє підвищенню безпечності харчових продуктів, зниженню виробничих ризиків та підвищенню конкурентоспроможності ремісничих підприємств. У роботах українських дослідників (Romanovska, 2026) продемонстровано, що інтеграція принципів HACCP, програм-передумов організації виробництва та технологій цифрового моніторингу підвищує ефективність управління критичними контрольними точками та забезпечує простежуваність продукції. Впровадження сучасних систем контролю та цифрових технологій сприяє формуванню культури безпеки виробництва та забезпечує відповідність продукції міжнародним стандартам.

Дослідники (Brovenko et al., 2025) вказують на застосування структурно-функціонального аналізу ризиків, методів моніторингу, а також графоаналітичних методів в загальній системі управління безпечністю харчових продуктів. Інноваційні підходи до удосконалення процесу управління ризиками (Kuznyetsova et al., 2024) використовуються також в контексті розроблення стратегії зовнішньоекономічної діяльності підприємств. Для ідентифікації ризиків та вибору оптимальної стратегії зовнішньоекономічної діяльності підприємств (ЗЕД) авторами використано економіко-математичне моделювання з використанням матриці ризиків та критеріїв Байєса, Лапласа, Вальда, Севіджа, Гурвіца, Ходжа-Лемана. Саме тому аналіз сучасних досліджень демонструє багатовекторність проблематики.

Попри значний прогрес у вивченні цієї теми, потреба в нових рішеннях для наукового обґрунтування управлінських рішень щодо запобігання та контролювання ризиків залишається актуальною. Це створює підґрунтя для подальших досліджень.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Метод матриці ризиків вперше був запропонований Центром електронних систем ВПС США у квітні 1995 року для оцінки ризиків протягом життєвого циклу проєкту придбання. Ризик небезпеки визначається ймовірністю того, що вона призведе до небажаної події, та наслідками, які матиме ця подія. Дві змінні – ймовірність та наслідок – можна класифікувати за допомогою якісних термінів або кількісних значень. Відповідно, частота виникнення певного ризику для безпечності харчових продуктів (табл. 1) визначається як ймовірність і поділяється на 5 різних рівнів.

Таблиця 1. Рівні ймовірностей

Кількісна ймовірність (ф)	Якісний термін	Кількісні значення
ф<1%	Неймовірно	1
1%≤ф<5%	Віддалений	2
5%≤ф<10%	Зрідка	3
10%<ф<20%	Ймовірно	4
ф≥20%	Часті	5

Еквівалентні смертельні випадки, спричинені певним ризиком для безпечності харчових продуктів, беруться за стандарт вимірювання наслідків поділяються на п'ять різних рівнів (таблиця 2). Матриця ризиків побудована шляхом поєднання класифікації ймовірностей та наслідків, як показано в таблиці 3, а відповідні критерії прийнятності ризику наведено в таблиці 4.

На основі стратегії пошуку використано офіційний сайт Державної служби України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів. Зібрано інформацію щодо спалахів гострих кишкових інфекційних захворювань та харчових отруєнь у період з 2022 року по перше півріччя 2026 року. На основі цієї інформації ідентифіковано інциденти у сфері безпечності харчових продуктів та зібрано дані, відповідно до сутності та характеристик інцидентів у сфері безпечності харчових продуктів. Числа використано як значення атрибута індикатора для побудови системи індикаторів інцидентів (X1…X7) у сфері безпечності харчових продуктів (таблиця 5).

Таблиця 2. Наслідки /результат виникнення ризику

Еквівалентна смертність (*число*)	**Якісний термін**	**Кількісні значення**
Пн. тим<10	Незначний	1
10 ≤ Пн.тим < 30	Незначна	2
30 ≤ Пн.тим <100	Помірний	3
100 ≤ Пн.тим < 200	Сильний	4
Пн.тим ≥ 200	Катастрофічний	5

Таблиця 3. Матриця ризиків

Ймовірність	**Наслідок**				
	Незначний	**Незначна**	**Помірний**	**Сильний**	**Катастрофічний**
Неймовірно	Л	Л	М	Н	Н
Віддалений	Л	Л	М	Н	Е
Зрідка	Л	М	Н	Е	Е
Ймовірно	М	Н	Н	Е	Е
Часті	Н	Н	Е	Е	Е

Примітка: Л – низький ризик; М – середній ризик; Н – високий ризик; Е – дуже високий ризик.

Таблиця 4. Критерії прийнятності ризику

Рівень ризику	**Прийнятність**
Л	Прийнятно
М	Прийнятно з документально підтвердженим прийняттям залишкового ризику
Н	Небажано – необхідно використовувати всі можливі засоби контролю – із задокументованим прийняттям залишкового ризику
Е	Неприйнятно – ризик необхідно мінімізувати

На основі бази даних інцидентів, пов'язаних з безпекою харчових продуктів, для проведення статичної оцінки ризиків за п'ятьма аспектами (категорії харчових продуктів, області України, суб'єкти інциденту, причини, джерела забруднення) на основі семи індикаторів інцидентів використано метод матриці ризиків у поєднанні з методом Borda. Результати оцінки методом матриці ризиків наведено в таблиці 5.

Критеріями включення до бази даних були: офіційна реєстрація спалаху гострої кишкової інфекційної хвороби або харчового отруєння Держпродспоживслужбою України та наявність інформації про дату й місце (суб'єкт) виникнення інциденту. Загалом до бази включено 224 спалахи, зареєстровані у 2022–2025 роках, а також дані за перше півріччя 2026 року. Система індикаторів інцидентів налічує сім показників (X1–X7); статичну оцінку ризиків виконано за п'ятьма аспектами, яким відповідають індикатори X1 (категорії харчових продуктів), X3 (області України), X4 (суб'єкти інциденту), X5 (причини) та X6 (джерела забруднення), тоді як індикатори X2 (період) та X7 (галузь) використано для структурування даних. Інциденти з невстановленим джерелом забруднення збережено в базі як окремі категорії («Невідомо», «Жоден»), що запобігає втраті інформації. Шкали частоти та наслідків (табл. 1–2), матрицю ризиків (табл. 3) та критерії прийнятності ризику (табл. 4) обґрунтовано відповідно до міжнародної практики оцінювання ризиків. Розрахунки частот, балів Borda та рівнів ризику виконано з використанням табличного процесора.

Таблиця 5. Система індикаторів інцидентів у сфері безпеки харчових продуктів

Фактор	Фактичне значення	Значення атрибута	Індикатор	Фактичне значення	Значення атрибута
Категорія харових продуктів (X 1)	Молочні продукти	1	Суб'єкт інциденту (X 4)	Заклади харчування (при закладах освіти)	1
	М'ясо та м'ясні продукти	2		Заклади харчування (загальнодоступні підприємства)	2
	Овочі тощо	3		Їдальні при промислових підприємствах	3
	Риба, рибні продукти	4		Стихійні ринки	4
	Ковбасні вироби домашнього приготування	5		Заклади харчування (при торговельно-розважальних підприємствах)	5
	Рибні вироби домашнього приготування	6		Домогосподарства	6
	Рибна продукція, придбана на стихійному ринку	7		Супермаркети	7
	Рибна продукція придбана в торгівельних мережах	8		Продуктові магазини	8
Період (X 2)	2022 рік	2022	Причина (X 5)	Людський фактор помилка	1
	2023 рік	2023			
	2024 рік	2024		Неякісні технології	2
	2025 рік	2025		Відмова обладнання	3
	2026 рік	2026		Неефективне управління	4
Області (X 3)	Вінницька	1	Джерело забруднення (X 6)	Фізичний	1
	Волинська	2		Мікробіологічний	2
	Дніпропетровська	3		Хімічна	3
	Житомирська	4		Харчові добавки	4
	Закарпатська	5		Інше	5
	Запорізька	6		Невідомо	6
	Івано-Франківська	7		Жоден	7
	Київська	8		Кілька джерел	8
	Кіровоградська	9	Галузь (X 7)	Сільськогосподарське виробництво	1
	Львівська	10		Торгівля	2
	м. Київ	11		Стихійна торгівля	3
	Миколаївська	12		Виробництво та переробка	4
	Одеська	13		Упаковка	5
	Полтавська	14		Зберігання	6
	Рівненська	15		Транспорт	7
	Черкаська	18		Домогосподарства	8
	Чернівецька	19			

Метод Borda. Для даних матриці метод Borda застосовано за такою методикою –кожен показник ранжується за зниженням (наприклад область/місто ранжується за кількістю спалахів; область із найбільшою кількістю отримує 20 балів, друга – 19, …, найнижча – 0.) Для однакових значень використано середнє Borda – значення займаних позицій, щоб області з однаковою кількістю спалахів мали однакову оцінку.

$$Bij=N-\bar{r}ij$$

де N – кількість областей/міст, $\bar{r}$ – середній ранг області за відповідний рік.

Отже інтегральна оцінка:

$$Bi=j=1\sum 5Bij$$

На основі бази даних інцидентів, пов'язаних з безпекою харчових продуктів, для проведення статичної оцінки ризиків з п’яти аспектів у різних областях України було використано метод матриці ризиків у поєднанні з методом Borda.

Алгоритм розрахунку методом Borda: 1) для кожного аспекту та кожного року інциденти ранжують за спаданням частоти; 2) найвищому значенню присвоюють бал N, наступному – N−1 і так далі, де N – кількість категорій (наприклад, для 20 областей України найвищий ранг отримує 20 балів, найнижчий – 0); 3) у разі однакових значень використовують середнє арифметичне балів відповідних позицій; 4) бал кожного об'єкта обчислюють за формулою $Bij = N - \bar{r}ij$, де $\bar{r}ij$ – середній ранг j-го об'єкта за і-й період; 5) інтегральну оцінку Bi обчислюють як суму балів за всі п'ять періодів ($Bi = \Sigma Bij$); 6) за інтегральною оцінкою об'єкти відносять до одного з чотирьох рівнів ризику відповідно до таблиці 7.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Визначено оцінку ризиків для безпечності харчових продуктів за категоріями та розраховано бали Borda й рівні ризику для різних категорій харчових продуктів. Матрицю ризиків для безпечності харчових продуктів було побудовано відповідно до балів Borda, показано в таблиці 6.

Таблиця 6. Матриця ризиків для безпечності харчових продуктів за категоріями харчових продуктів.

Код	Категорія продуктів	Частота	Оцінка імовірності (F)	Тяжкість наслідків	Оцінка наслідків (E)
4	Риба, рибні продукти	961	2	502,9	1
2	М'ясо та м'ясні продукти	1194	1	266,9	3
3	Овочі тощо	687	3	327,3	2
8	Рибна продукція, придбана в торговельних мережах	314	4	172,2	4
6	Рибні вироби /консерви домашнього приготування	278	5	72,8	6
1	Молочні продукти	230	6	123,2	5
5	Ковбасні вироби домашнього приготування	211	7	54,7	7
7	Рибна продукція, придбана на стихійному ринку	21	8	7,8	8

Результати матричного оцінювання демонструють, що рівень ризику для категорій харчових продуктів формується не лише частотою виникнення інцидентів, а й потенційною тяжкістю їх наслідків. Найвищий пріоритет ризик-орієнтованого контролю доцільно, на нашу думку, надати рибі та рибним продуктам, які характеризуються оптимальним поєднанням

високої частоти (F=2) та максимальної тяжкості наслідків (E=1). М'ясо та м'ясні продукти і овочі, що посідають провідні позиції за одним із критеріїв і мають високі значення за іншим критерієм, тому також потребують пріоритетної уваги.

Отже, результати матриці вказують на чітку концентрацію ризику у кількох категоріях харчових продуктів, насамперед у рибі та рибних продуктах, м'ясі та м'ясних продуктах і овочах. Це обґрунтовує пріоритетність при плануванні заходів державного контролю, санітарно-епідеміологічного нагляду та профілактики харчових інцидентів.

Розраховано оцінку ризиків для областей України. Визначено оцінку Borda рівнів ризику за період 2022 рік – перше півріччя 2026 року, матрицю рівнів ризиків наведено в таблиці 7.

Максимально можлива інтегральна оцінка за 5 періодів – 100 балів. Для інтерпретації результатів використано 4 рівні ризику.

Таблиця 7. Матриця рівнів ризиків

Borda – оцінка за окремий рік	Borda – інтегральна оцінка	Рівень ризику
0–5	0–25	Низький
6–10	26–50	Середній
11–15	51–75	Високий
16–20	76–100	Дуже високий

Таблиця 8. Матриця оцінки ризиків безпечності харчових продуктів для областей України за період 2022 рік- перше півріччя 2026 року.

Область / місто	2022	2023	2024	2025	6 міс. 2026
Вінницька	4 Л	15,5 Е	3,5 Н	9 М	4 Л
Волинська	4 Л	2,5 Л	7 М	5,5 М	11,5 Н
Дніпропетровська	19 Е	11 Н	12 Н	13 Н	4 Л
Житомирська	4 Л	11 Н	1 Л	5,5 М	15,5 Н
Закарпатська	11,5 Н	13 Н	16,5 Е	19 Е	11,5 Н
Запорізька	15,5 Н	2,5 Л	12 Н	2,5 Л	4 Л
Івано-Франківська	15,5 Н	15,5 Е	12 Н	13 Н	19 Е
Київська	17 Е	18 Е	12 Н	9 М	4 Л
Кіровоградська	11,5 Н	7,5 М	3,5 Н	5,5 М	4 Л
Львівська	20 Е	19 Е	12 Н	20 Е	17,5 Е
м. Київ	11,5 Н	20 Е	20 Е	17 Е	11,5 Н
Миколаївська	4 Л	11 Н	7 М	17 Е	20 Е
Одеська	18 Е	15,5 Е	19 Е	9 М	15,5 Н
Полтавська	11,5 Н	7,5 М	16,5 Е	13 Н	11,5 Н
Рівненська	4 Л	15,5 Е	7 М	17 Е	11,5 Н
Сумська	4 Л	2,5 Л	7 М	0,5 Н	17,5 Е
Херсонська	4 Л	2,5 Л	1 Л	2,5 Л	4 Л
Хмельницька	11,5 Н	2,5 Л	1 Л	0,5 Н	4 Л
Черкаська	11,5 Н	2,5 Л	7 М	13 Н	11,5 Н
Чернівецька	4 Л	7,5 М	16,5 Е	13 Н	4 Л
Чернігівська	4 Л	7,5 М	16,5 Е	5,5 М	4 Л

Позначення: рівні ризику Е – дуже високий, Н – високий, М – середній, Л – низький.

За інтегральним Borda – рейтингом найбільш виражений ризик спалахів у 2022–2025 роках та за 6 місяців 2026 року спостерігається у Львівській області (88,5 бала), м. Києві (80,0) та Одеській області (77,0). Вони є єдиними територіями, що потрапили до категорії дуже високого ризику. Особливо показовою є Львівська область: вона посідала найвищу позицію за кількістю спалахів у 2022, 2023 та 2025 роках і залишилася на дуже високому рівні в першому

півріччі 2026 року. У м. Києві максимум ризику припадає на 2023–2024 роки, тоді як у Миколаївській області відбувається протилежна динаміка – Borda – оцінка зростає до 20 балів у першому півріччі 2026 року. Водночас Сумська область має невисокий інтегральний результат.

Проаналізовано загальну динаміку спалахів гострих кишкових інфекційних захворювань в Україні за період 2022–2025 роки. Побудовану лінійну стовпчасту діаграму загальної динаміки спалахів гострих кишкових інфекційних (ГКІ) захворювань наведено на рис. 1.

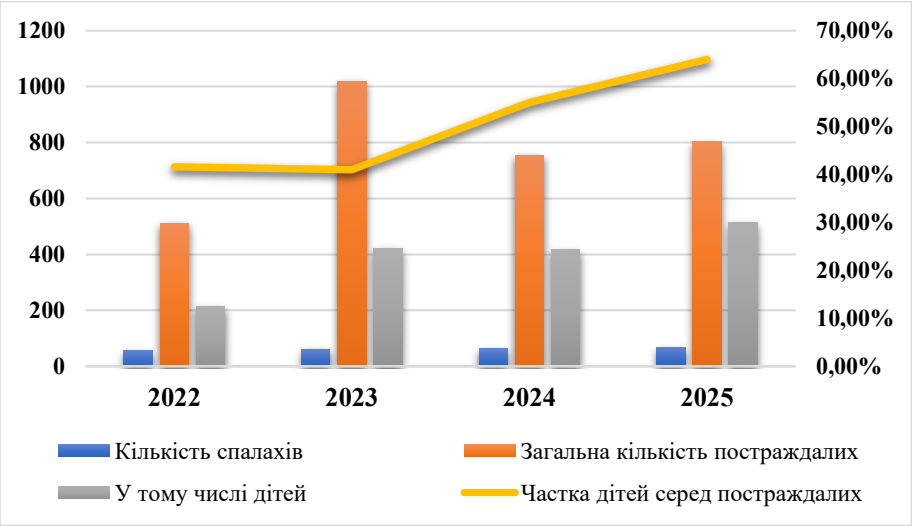

Рисунок 1. Загальна динаміка спалахів гострих кишкових інфекційних захворювань в Україні за період 2022–2025 роки.

Джерело: побудовано авторами за даними Держпродспоживслужби України https://dpss.gov.ua

Примітка: зазначено кількість спалахів після введення воєнного стану 2022 року.

Аналізуючи дані, варто визначити, що спостерігається стійке зростання загальної кількості спалахів ГКІ (+21,8% за 4 роки) та критичне зміщення епідеміологічного тягаря на дитяче населення. Приріст постраждалих дітей склав +140,8%. У 2022–2023 роках частка постраждалих дітей складала близько 41%; у 2024 році діти склали вже більше половини всіх захворілих (55,2%); в 2025 році частка дітей досягла рекордних 63,9% (майже 2 з 3 постраждалих). Пік масовості (середня кількість постраждалих на один спалах) припав на 2023 рік (17,0 осіб/спалах). У 2024–2025 роках цей показник знизився до 12 осіб, однак усереднена кількість дітей у кожному спалаху зросла з 3,9 до 7,7 осіб.

За 8 місяців 2022 року за місцем виникнення було зареєстровано 18 спалахів у місцях тимчасового перебування внутрішньо переміщених осіб (ВПО). У закладах харчування зафіксовано 10 спалахів, у закладах освіти – 7, у побуті – 10. Крім того, по одному спалаху було пов’язано відповідно з харчоблоком територіальної оборони та харчоблоком промислового підприємства.

На нашу думку, критичними є перебої з електропостачанням, що спричиняють порушення «ланцюга холоду» під час зберігання продуктів харчування в харчоблоках та торговельних мережах, а також локальні проблеми з водопостачанням та якістю питної води в закладах освіти, порушення технологій приготування страв, недотримання температурних режимів та правил особистої гігієни в школах та пунктах тимчасового проживання ВПО.

Оцінка ризиків для безпечності харчових продуктів, пов'язаних з суб'єктами інцидентів (табл. 9). Продуктові магазини локального формату виявилися найбільш критичною ланкою. Це пов'язано з частим порушенням умов зберігання (перебої в «ланцюзі холоду»), відсутністю

дієвого внутрішнього аудиту та низьким рівнем впровадження процедур HACCP. Ресторани, кафе та заклади швидкого харчування посідають друге місце за рівнем ризику.

Таблиця 9. Оцінка та класифікації ризиків за суб'єктами інцидентів

Суб'єкт інциденту (місце)	Оцінка Borda	Рівень ризику	Пріоритет контролю
Продуктові магазини	8	Критичний	I (Найвищий)
Заклади харчування (загальнодоступні підприємства)	7	Високий	II
Заклади харчування (при закладах освіти)	5	Підвищений / Соціальний	III
Стихійні ринки	5	Підвищений / Нерегульований	III
Заклади харчування (при ТРЦ)	4	Помірний	IV
Домогосподарства	3	Помірний	IV
Супермаркети	2	Низький	V
Їдальні при промислових підприємствах	1	Мінімальний	VI

Джерело: розроблено авторами за даними Держпродспоживслужби України

Основні чинники – людський фактор, недотримання технологічного режиму обробки сировини, вторинна контамінація. Виїзд громадян за кордон та мобілізаційні заходи спричинили гострий кадровий дефіцит. Ситуацію додатково ускладнюють як побутові чинники – робота під час перебоїв із світлом та водою, так і внутрішні процеси – вимушена ротація персоналу без належного навчання. Заклади харчування, які вимагають особливої соціальної та правової уваги, – заклади освіти. Хоча бал нижчий, ніж у продовольчих магазинів, ці заклади харчування мають високий соціальний резонанс та вразливу дитячу аудиторію. Стихійні ринки, які виведені з-під офіційного державного санітарно-гігієнічного контролю, створюють осередок неконтрольованого поширення інфекцій. Супермаркети та їдальні на підприємствах демонструють найменший рівень ризику. Це свідчить про ефективність систем сертифікації (ISO 22000, HACCP), наявність штатного кваліфікованого персоналу з якості та автоматизованого моніторингу умов зберігання.

Розраховано оцінку Borda та рівні ризику з різних причин, а також побудовано стовпчасту діаграму причин відповідно до оцінки Borda, яку показано на рисунку 2.

Рисунок 2. Оцінка за методом Borda ризику для безпечності харчових продуктів з різних причин.

Представлені дані оцінки за методом Borda демонструють, що основні ризики для безпечності харчових продуктів обумовлені багатьма чинниками, а не лише помилками працівників підприємств харчової промисловості, закладів харчування та торгівлі.

Неефективне управління посідає перше місце за вагою. Це свідчить про те, що першопричиною більшості інцидентів є недоліки в організації виробничих процесів, а саме слабкість дієвого внутрішнього контролю, формальне впровадження систем HACCP, економія на заходах безпечності. Другий за значущістю фактор – відмова обладнання, що має високий рівень ризику. На нашу думку, це вказує на знос матеріально-технічної бази, відсутність своєчасного технічного обслуговування холодильного, теплового та вимірювального обладнання, а також на чутливість підприємств до аварійних відключень електроенергії. Помірний рівень ризику – людський фактор. Відображає ситуативні порушення через втому, неуважність або брак кваліфікації персоналу. Проте цей фактор є похідним від якості менеджменту.

Відхилення від технологічного регламенту мають порівняно меншу вагу у загальному структурованому ризику, що підтверджує: за наявності справного обладнання та чіткого менеджменту технологічна дисципліна дотримується краще.

Визначено рівні ризику для безпечності харчових продуктів, пов'язаних з джерелами забруднення, їх розподілено за чотирма рівнями ризику.

Критичний рівень ризику. Мікробіологічне забруднення посідає друге місце за тяжкістю наслідків. Хімічне забруднення, характеризується одночасно високою частотою. Категорія «Інші фактори» має найвищу частоту прояву серед усіх джерел та високий рівень тяжкості. Мікробіологічні та хімічні чинники є найбільш руйнівними за наслідками для здоров’я. Вони формують левову частку тяжких отруєнь та смертельних випадків через швидкість поширення та високу токсичність. Високий рівень ризику. Невідоме джерело забруднення попри відносно невисоку частоту, є абсолютним лідером за кількістю летальних наслідків. Помірний рівень ризику. Харчові добавки демонструють високу частоту виявлення при помірній тяжкості наслідків. Фізичне забруднення має найнижчий показник тяжкості серед основних факторів. Фізичні сторонні домішки (метал, скло, пластик) та перевищення дозування добавок виявляються часто, проте рідко призводять до фатальних наслідків, що зміщує їх у помірну групу ризику. Низький / Мінімальний рівень ризику (0–2 бали, 7–8 місця). Поодинокі інциденти з мінімальним сумарним впливом на показники захворюваності.

Використовуючи ризик-орієнтований підхід до безпечності харчових продуктів визначено вагомі аспекти запобігання та контролю ризиків, а також запропоновано рекомендації щодо запобігання та контролю ризиків. Для категорій продуктів харчування, зокрема риби та рибних продуктів, м’яса, м’ясних та молочних продуктів посилити контроль безпечності сировини, забезпечити систематичний контроль температурного режиму зберігання, дотримання холодового ланцюга, термічної обробки та санітарних вимог під час виробництва, мікробіологічних показників та документованої простежуваності продукції. При виготовленні овочевої продукції важливо контролювати якість води, санітарний стан сировини, виробничі процеси миття та дезінфекцію технологічного обладнання тари, інвентарю, умови зберігання і запобігати перехресному забрудненню. Посилити профілактичне інформування населення щодо безпечного приготування, термічної обробки та зберігання домашніх рибних та ковбасних виробів. Також покращити формулювання норм та стандартів для цих продуктів харчування.

Ризики безпечності харчових продуктів демонструють тенденцію до зростання з року в рік, проте мають територіально нерівномірний характер. За наведеними даними простежується загальна тенденція до зростання кількості зареєстрованих спалахів у досліджуваних областях України. У 2022 році за наведеними значеннями зафіксовано 39 випадків, у 2023 році – 58, у 2024 році – 60, а у 2025 році – вже 67. Таким чином, у 2025 році порівняно з 2022 роком кількість спалахів зросла приблизно на 72%, що свідчить про підвищення епідеміологічного навантаження. Рекомендовано посилити ризик-орієнтований

контроль у регіонах із найбільшою кількістю спалахів, оперативно перерозподіляти ресурси контролю.

Приділити увагу профілактиці та контролю нових ризиків безпечності харчових продуктів, зокрема інтернет-торгівлі харчовими продуктами. Впровадити експрес-тестування (на рота-, норовіруси, сальмонельоз) при появі перших симптомів у колективі для швидкої локалізації спалаху. Удосконалити розробку обладнання та методів для експрес-тестування харчових продуктів. Розробити та розповсюдити покрокові чек-листи впровадження базисних гігієнічних вимог для малого бізнесу.

Інформувати населення про небезпеку купівлі швидкопсувних продуктів (м'ясних, молочних, рибних) у місцях стихійної торгівлі. Підвищувати рівень обізнаності мешканців щодо безпечності харчових продуктів. Крім того, виробники та оператори харчових продуктів повинні розвивати почуття соціальної відповідальності, оптимізувати управління виробництвом та заходи контролю для забезпечення безпечності харчових продуктів.

Варто долати управлінські дефекти, зокрема проводити реальний аудит систем HACCP / ISO 22000. Відмовитись від формального документообігу, а впровадити регулярні внутрішні та незалежні зовнішні аудити фактичних процесів. Розробити ризик-орієнтовані чек-листи. Регулярно проводити навчання з безпечності харчових продуктів для фахівців з харчової промисловості, закликати менеджмент харчових підприємств забезпечити базове санітарне середовище. Слід навчати персонал та заохочувати до активної участі в нагляді за безпечністю харчових продуктів. Підвищити стандарти якості харчових продуктів, сприяючи тим самим розвитку всієї харчової промисловості.

Отримані результати доцільно зіставити з наявними міжнародними та вітчизняними дослідженнями. Найближчим за методологією є дослідження Yu et al. (2024), у якому матрицю ризиків у поєднанні з методом Borda застосовано для оцінювання ризиків безпечності харчових продуктів у Китаї. Збіг із нашими результатами полягає в тому, що в обох дослідженнях найвищий пріоритет отримали м'ясо та м'ясні продукти, риба та рибна продукція, а серед джерел забруднення визнано провідну роль мікробіологічного та хімічного чинників. Відмінність стосується суб'єктів інцидентів: якщо в Китаї найризикованішими визнано заклади харчування, то в Україні – локальні продуктові магазини, що пояснюється відмінностями структури роздрібної торгівлі та поширенням неформальних каналів збуту в умовах воєнного стану. Спільним для обох досліджень є також висновок про те, що матриця ризиків дає змогу виявляти пріоритети контролю навіть за обмежених статистичних даних, що особливо актуально для України в умовах воєнного стану. Це підтверджує доцільність запропонованого нами методичного підходу.

На відміну від нашого кількісного підходу, Chen et al. (2023) дослідили поведінкові механізми управління ризиками харчових підприємств Пекіна на основі моделі HFACS і запропонували механізм «одна вісь, чотири виміри». Спільним є висновок про визначальну роль управлінських чинників: як і в нашій моделі, в дослідженні неефективне управління визнано системною першопричиною інцидентів. Відмінність полягає в рівні аналізу: автори зосередилися на поведінці суб'єктів, тоді як ми кількісно оцінили внесок причин у загальний ризик за допомогою методу Borda. Це зіставлення показує, що навіть за різних методологій дослідники сходяться у визнанні менеджменту ключовою ланкою запобігання інцидентам.

Kong et al. (2021) запропонували систему ідентифікації та відстеження ризиків у реальному часі на основі мережі глибокого укладання та багатоджерельних даних. Це дослідження доповнює наше в динамічному аспекті, о саме автори прогнозують рівні ризику до виникнення інцидентів, тоді як наша оцінка є статичною і спирається на ретроспективні дані офіційних повідомлень. Водночас оцінка на основі матриці ризиків є простішою у впровадженні для органів контролю, оскільки не потребує значного обсягу структурованих даних у реальному часі. Перспективним є поєднання матриці ризиків із методами машинного навчання для переходу від статичного до динамічного оцінювання.

На основі багатонаціонального опитування Belluco et al. (2025) європейських споживачів показали, що низьке сприйняття ризику пов'язане з вищим рівнем споживання сирих молочних продуктів. Цей результат узгоджується з нашим висновком про високий рівень ризику молочної продукції, однак указує на додатковий чинник – споживчу поведінку, яку ми не враховували. Це підкреслює доцільність комунікаційних кампаній, спрямованих на підвищення обізнаності споживачів щодо ризиків безпечності харчових продуктів. Це розширює наші практичні рекомендації, зорема окрім посилення контролю, необхідна системна просвітницька робота зі споживачами.

Romanovska (2026) продемонструвала, що інтеграція принципів HACCP, програм-передумов і цифрового моніторингу підвищує ефективність управління критичними контрольними точками на ремісничих харчових підприємствах. Спільним із нашими результатами є акцент на реальному впровадженні систем HACCP та ISO 22000 і проведенні внутрішніх аудитів, що нами рекомендовано для подолання управлінських дефектів. Спільним є також використання ризик-орієнтованого підходу до розподілу контрольних ресурсів. Відмінність полягає в об'єкті дослідження, зокрема авторка розглянула ремісниче виробництво, тоді як наше дослідження охоплює весь харчовий ланцюг.

Duan et al. (2024) розглянули блокчейн як інструмент підвищення прозорості та відстежуваності ланцюгів постачання. Хоча технологічний фокус відрізняється від нашого, обидва дослідження сходяться у важливості документованої простежуваності продукції як запобіжного заходу. Водночас наші дані свідчать, що в Україні нагальнішою є проблема дотримання базових гігієнічних вимог і холодового ланцюга, ніж упровадження високотехнологічних рішень. Відповідно, для українських операторів ринку першочерговим завданням є зміцнення базових програм-передумов, на основі яких можливе подальше впровадження цифрових технологій.

Hamid et al. (2026) систематизували застосування штучного інтелекту та машинного навчання для моніторингу й прогнозування загроз безпечності харчових продуктів і зазначили труднощі впровадження, зокрема проблеми якості даних та обмеженість ресурсів. Це узгоджується з нашою рекомендацією щодо експрес-тестування для швидкої локалізації спалахів, однак автори наголошують, що такі інструменти потребують належної інфраструктури даних, яка в Україні лише формується.

Wu et al. (2025) побудували модель машинного навчання для прогнозування ризиків безпечності харчових продуктів і запропонували динамічний ієрархічний регуляторний механізм із диференціацією частоти перевірок за категоріями та сезонами. Висновки авторів про посилення перевірок продуктів високого ризику в літній період узгоджуються з нашими рекомендаціями щодо пріоритизації контролю на основі балів Borda; відмінність полягає в тому, що їхній підхід спирається на прогнозні моделі, а наш – на ретроспективне ранжування емпіричних даних. Таким чином, поєднання ретроспективного ранжування та прогнозного моделювання є перспективним напрямом удосконалення нагляду за безпечністю харчових продуктів в Україні.

Загалом проведене зіставлення підтверджує, що результати дослідження узгоджуються з міжнародним науковим дискурсом щодо пріоритетності м'ясної, рибної та молочної продукції, провідної ролі управлінських чинників і мікробіологічних загроз, але відображають національну специфіку: вплив воєнного стану на структуру ризиків, поширення стихійної торгівлі та перебої з електропостачанням вирізняють українську ситуацію від більшості контекстів, досліджених у літературі. Водночас іноземний досвід свідчить про доцільність поступового переходу від статичної оцінки ризиків до динамічних моделей прогнозування, що є напрямом наших подальших досліджень.

ВИСНОВКИ. Проведена багатокритеріальна оцінка ризиків у сфері безпечності харчових продуктів в Україні за 2022 – перше півріччя 2026 року засвідчила тенденцію до їх зростання з найвищими рівнями у 2024–2025 роках. Це вказує на переважно системний

характер формування харчових ризиків та їх залежність від комплексу управлінських, технологічних й інфраструктурних чинників.

За результатами ранжування методом Borda до категорій із найвищим рівнем ризику віднесено м'ясо та м'ясні продукти, рибу та рибну продукцію, овочеву продукцію, молочні продукти й консервовані вироби домашнього приготування. Найвищі рівні ризику встановлено у Львівській та Одеській областях і м. Києві. Найбільш уразливими ланками харчового ланцюга визначено локальні продуктові магазини, заклади громадського харчування, харчоблоки закладів освіти та місця нерегульованої торгівлі.

Основними системними чинниками виникнення інцидентів є недоліки управління безпечністю харчових продуктів, технічна зношеність і відмови обладнання, людські помилки та недотримання технологічних регламентів. Найбільший внесок у формування ризику масової захворюваності мають мікробіологічні та хімічні небезпеки.

Поєднання матричного аналізу ризиків із методом Borda дозволило сформувати обґрунтовану систему пріоритетів для ризик-орієнтованого контролю. Отримані результати можуть бути використані для цільового розподілу інспекційних ресурсів, посилення контролю за найбільш уразливими ланками харчового ланцюга, дотриманням холодового ланцюга та моніторингу мікробіологічних і хімічних контамінантів.

Обмеження дослідження пов'язані з використанням офіційно зареєстрованих даних та статичним характером оцінювання. Подальші дослідження доцільно спрямувати на розширення інформаційної бази, просторово-часове моделювання ризиків і застосування методів машинного навчання для прогнозування харчових інцидентів та їх раннього виявлення.

Подяки. Немає.
Конфлікт інтересів. Немає.

References

Belluco, S., Pinto, A., Mascarello, G., Crovato, S., Mancin, M., Boscolo Anzoletti, A., & Losasso, C. (2025). Understanding European consumers' perception of food safety risks: A multicountry analysis of raw milk and raw milk-based cheeses. *Food Science & Nutrition*, 13(6), Article e70409. https://doi.org/10.1002/fsn3.70409

Brovenko, T., Slyva, Y., Liubenok, O., Lytvynenko, O., & Sivova, I. (2025). Comprehensive model of risk management system: structural and functional approach. *Human and nation's health*, 3(3), 49–62. https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2025.49

Chen, J., Li, M., Wang, Y., Li, Q., & He, Z. (2023). A study on governance mechanism for food safety risk behavior of food enterprises in Beijing based on the HFACS model. *Digitalization and management innovation*, 367, 368–377. https://doi.org/10.3233/FAIA230037

Kong, J., Yang, C., Wang, J., Wang, X., Zuo, M., Jin, X., & Lin, S. (2021). Deep-Stacking Network Approach by Multisource Data Mining for Hazardous Risk Identification in IoT-Based Intelligent Food Management Systems. *Computational Intelligence and Neuroscience*, 2021, 1–16. https://doi.org/10.1155/2021/1194565

Duan, K., Onyeaka, H., Pang, G., & Meng, Z. (2024). Pioneering food safety: Blockchain's integration in supply chain surveillance. *Journal of Agriculture and Food Research*, 18, 101281. https://doi.org/10.1016/j.jafr.2024.101281

Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). Home. https://www.fao.org

Hamid, M. R., Musa, S. S., Ogbodum, M. U., Ahmed, M. M., Othman, Z. K., Haruna, U. A., Ibrahim, A. M., Lawal, M. Z., Ogunkola, I. O., Abdulsalam, A., Musa, M. K., Gololo, A. A., Shallangwa, M. M., Aliyu, A. A., Imperial, E., & Lucero-Prisno, D. E., III. (2026). Artificial intelligence and machine learning in food safety: Challenges, innovations, and future perspectives. In Advances in Food Security and Sustainability. Elsevier. https://doi.org/10.1016/bs.af2s.2026.06.004

Leslie, J. F., Ezekiel, C. N., Wagner, M., Elliott, C., McNerney, O., Uyttendaele, M., Wu, Y., Wang, S., Okoth, S., Lindsay, J., Rawn, D. F. K., Chan, S. H., & Zhang, K. (2025). A FoodSafeR perspective on emerging food safety hazards and associated risks. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 9, Article 1646792. https://doi.org/10.3389/fsufs.2025.1646792

Romanovska, T. (2026). Risk management and control of food safety in craft food production. Progressive technique and technologies of food production enterprises, *Catering business and trade*, 1(39), 143–157. https://doi.org/10.31359/2312.3990.2026.39.1.143

State Service of Ukraine on Food Safety and Consumer Protection. (n.d.). Official website. https://dpss.gov.ua/

World Health Organization. (n.d.). Home. https://www.who.int

Wu, D., Cai, H., & Li, T. (2025). Food Safety Risk Prediction and Regulatory Policy Enlightenment Based on Machine Learning. *Systems*, 13(8), 715. https://doi.org/10.3390/systems13080715

Yu, H., Song, Y., Lv, W., Liu, D., & Huang, H. (2024). Food safety risk assessment and countermeasures in China based on risk matrix method. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 8, Article 1351826. https://doi.org/10.3389/fsufs.2024.1351826

On Amendments to Certain Legislative Acts of Ukraine on Food Products, Law of Ukraine No. 1602-VII (2025) (Ukraine). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1602-18#Text

On State Control over Compliance with Legislation on Food Products, Feeds, By-Products of Animal Origin, Veterinary Medicine and Animal Welfare, Law of Ukraine No. 2042-VIII (2026) (Ukraine). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2042-19#Text

On Approval of Requirements for the Development, Implementation and Application of Standing Procedures Based on the Principles of the Food Safety Management System (HACCP), Order of the Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine No. 590 (2015) (Ukraine). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1704-12#Text

On Approval of the Regulation on the National Commission for the Food Codex Alimentarius and Its Composition, Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 616 (2006) (Ukraine). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/616-99-п#Text

On the Basic Principles and Requirements for Safety and Quality of Food Products, Law of Ukraine No. 771/97-VR (2026) (Ukraine). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/771/97-вр#Text

Regulation (EC) No 178/2002 of the European Parliament and of the Council of 28 January 2002 Laying Down the General Principles and Requirements of Food Law, Establishing the European Food Safety Authority and Laying Down Procedures in Matters of Food Safety, Regulation (EC) No 178/2002 (2002). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/984_005-02#Text

Sushko, N., & Cheberiachko, S. (2023). Peculiarities of constructing a risk matrix. In Labour Protection: Education and Practice. Problems and Prospects of Labour Protection Development: Proceedings of the 3rd All-Ukrainian Scientific and Practical Conference, Lviv (pp. 62–64).

Kuznyetsova, A., Kulish, D., Prykhodko, B., & Kuznyetsov, O. (2024). Innovative Approaches to Improving the Process of Risk Management in the Context of Developing a Strategy for the Foreign Economic Activity of Enterprises. *Marketing and Management of Innovations*, 15(1), 210–228. https://doi.org/10.21272/mmi.2024.1-16

УДК 604.2:661.745:664.696:635.657
https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2026.131

ОЦІНКА ХАРЧОВОЇ ЦІННОСТІ ТА АМІНОКИСЛОТНОЇ ЗБАЛАНСОВАНОСТІ БІЛКА ГОЛУБЦІВ ІЗ ПРОРОЩЕНИМ НУТОМ І КОМПОЗИЦІЄЮ ГІДРОКОЛОЇДІВ

Ігор Анатолійович Калюжняк
здобувач PhD
http://orcid.org/0009-0001-8559-7883
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, вул. Виставкова,16, м. Київ, Україна
Марина Єгорівна Сердюк
доктор технічних наук, професор
http://orcid.org/0000-0002-6504-4093
Національний університет біоресурсів і природокористування України,
03041, вул. Виставкова,16, м. Київ, Україна

Анотація. Актуальною проблемою вдосконалення традиційних заморожених м'ясо-рослинних напівфабрикатів є підвищення харчової цінності шляхом обґрунтованого вибору інноваційних інгредієнтів, оцінювання вмісту нутрієнтів і збалансованості білка.

Мета дослідження полягала в оцінці харчової цінності та амінокислотної збалансованості білка голубців із пророщеним насінням нуту, β-глюканом і псиліумом. Основою фаршевих систем контрольного і дослідного варіантів була м'ясна сировина. Рослинною складовою контролю був білий шліфований рис, досліду – пророщений нут. У якості структуроутворювачів у контролі використано фосфатний препарат, в досліді – композицію β-глюкану та псиліуму. Визначали вміст основних макронутрієнтів та амінокислотний склад білкової складової голубців. Визначення проводили у п'яти незалежно виготовлених лабораторних партіях кожного варіанта (n = 5). Оцінку статистичної значущості відмінностей – методом однофакторного дисперсійного аналізу з подальшим тестом Тьюкі за $p < 0,05$. Було визначено статистично достовірне зростання вмісту білка на 11,9%, харчових волокон – в 2,54 рази та зниження вмісту вуглеводів майже на 32% в дослідних зразках голубців.

Встановлено зростання вмісту визначених амінокислот у дослідних зразках із максимальним позитивним ефектом для лізину, аргініну та аспарагінової кислоти. Показано, що амінокислотний СКОР білка обох зразків був вищим за 100%. Мінімальний амінокислотний СКОР у дослідних зразках голубців знизився з 118,5 до 117,1 %, а СКОР метіоніну та цистину з 137,6 до 117,1%. Коефіцієнт розбіжності амінокислотного СКОРу зразків дослідного варіанту був нижчим на 9,3%, а розрахункова біологічна цінність білка та коефіцієнт утилітарності були вищими порівняно з контрольним зразком відповідно на 4,2% і 0,6%. Отже, використання пророщеного нуту та гідроколоїдів підвищує харчову цінність і амінокислотну збалансованість білка в голубцях.

Практичне значення результатів полягає в можливості використання розробленої рецептурної композиції для виробництва голубців із підвищеною харчовою цінністю.

Ключові слова: пророщене насіння нуту, β-глюкан, псиліум, заморожений м'ясо-рослинний напівфабрикат, амінокислоти, макронутрієнти.

 Creative Commons Attribution 4.0 International Public License

UDC 604.2:661.745:664.696:635.657
https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2026.131

EVALUATION OF THE NUTRITIONAL VALUE AND AMINO ACID BALANCE OF PROTEIN IN CABBAGE ROLLS WITH GERMINATED CHICKPEAS AND A HYDROCOLLOID COMPOSITION

Ihor Kaliuzhniak
Postgraduate student
http://orcid.org/0009-0001-8559-7883
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
03041, Vystavkova St., 16, Kyiv, Ukraine
Marina Serdyuk
Doctor of Technical Sciences, Professor
http://orcid.org/0000-0002-6504-4093
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine,
03041, Vystavkova St., 16, Kyiv, Ukraine

Abstract. A pressing issue in improving traditional frozen meat-and-plant semi-finished products is enhancing their nutritional value through the evidence-based selection of innovative ingredients, while evaluating their nutrient content and protein balance.

The aim of this research was to evaluate the nutritional value and amino acid balance of the protein in holubtsi formulated with sprouted chickpea seeds, β-glucan, and psyllium. The minced meat base for both the control and experimental variants consisted of raw meat. The plant-based component in the control sample was polished white rice, while the experimental sample utilized sprouted chickpeas. A phosphate preparation was used as a binding agent in the control sample, whereas a β-glucan-psyllium composite was used in the experimental variant. The content of basic macronutrients and the amino acid composition of the protein component in the holubtsi were determined. These analyses were conducted across five independently manufactured laboratory batches for each variant (n = 5). The statistical significance of the differences was evaluated using a one-way analysis of variance, followed by Tukey's test at $p < 0,05$. A statistically significant 11,9% increase in protein content, a 2,54-fold increase in dietary fiber, and a nearly 32% reduction in carbohydrate content were observed in the experimental holubtsi samples.

An increase in the total number of identified amino acids was observed in the experimental samples, with the most pronounced positive effects for lysine, arginine, and aspartic acid. The results indicate that the amino acid score of the protein in both samples exceeded 100%. The minimum amino acid score in the experimental holubtsi samples decreased from 118,5% to 117,1%, and the methionine and cystine scores decreased from 137,6% to 117,1%. The divergence coefficient of the amino acid score in the experimental variant was 9,3% lower, while the calculated biological value of the protein and the utility coefficient were 4,2% and 0,6% higher, respectively, compared to the control sample. Thus, incorporating sprouted chickpeas and hydrocolloids successfully increases the nutritional value and amino acid balance of the protein in holubtsi.

The practical significance of these results lies in the potential to utilize this newly developed recipe for the commercial production of holubtsi with enhanced nutritional properties.

Keywords: sprouted chickpea seeds, β-glucan, psyllium, frozen meat-vegetable semi-finished product, amino acids, macronutrients.

ВСТУП. Серед сучасних напрямків вдосконалення технологій заморожених м’ясо-рослинних напівфабрикатів найбільш перспективним вважається створення інноваційного продукту з підвищеною харчовою цінністю, зручного для споживання, стабільного при тривалому зберіганні за низьких температур. Конструювання таких інноваційних продуктів

найчастіше базується на принципі харчової комбінаторики, що полягає в заміні традиційних малоцінних інгредієнтів на інгредієнти з підвищеними функціональними властивостями (Bal-Prylypko, et al., 2025, Mishra, B. P., et al., 2023)

В українській кухні голубці є традиційною другою стравою, яка вважається культурним символом і елементом нематеріальної спадщини. Їх класична рецептура передбачає поєднання м'ясної сировини, підготовленого білого рису, овочів і капустяної оболонки. Білий шліфований рис виступає основним серед структуроутворюючих інгредієнтів фаршу та регулює його вологоутримувальну здатність. Проте, він містить багато крохмалю, та відповідно, характеризується високим глікемічним індексом, натомість вміст білку та харчових волокон є доволі низьким. Крім того, білкова складова даної культури характеризується незбалансованістю амінокислотного складу, зокрема недостатнім вмістом лізину (Jayaprakash, G., et al., 2022).

Найбільш перспективним альтернативним інгредієнтом є нут *(Cicer arietinum L.)*. Він характеризується більш високим, порівняно з білим рисом, вмістом білкових речовин, складних вуглеводів, харчових волокон і мінеральних речовин. Більш збалансований білковий профіль нуту формує передумови для раціонального доповнення амінокислотного профілю м'ясної сировини (Begum et al., 2023; Jha et al., 2024). Поряд з цим, загально відомим фактом залишається те, що харчова цінність насінин нуту знижується наявністю так званих антинутрієнтів, зокрема фітинової кислоти та інгібіторів протеолітичних ферментів, які зменшують біодоступність важливих нутрієнтів (Pérez-Ramírez et al., 2023). Додаткового підвищення харчової цінності насіння нуту, покращення його технологічних властивостей та зниження вмісту антинутрієнтів можна досягти шляхом пророщування (Avezum et al., 2023).

Введення до складу рецептурної композиції фаршу пророщеного насіння нуту супроводжується змінами співвідношення білкових речовин, крохмалю та харчових волокон, а отже потребує корегування його вологоутримувальних та структурно-механічних властивостей. З цією метою в сучасних літературних джерелах пропонується використання природних гідроколоїдів, зокрема β-глюкану та псиліуму. Так, β-глюкан покращує в'язкість водної фази та відіграє важливу роль у формуванні необхідної структури. У свою чергу, псиліум підвищує вологоутримувальні властивості фаршів, тобто компенсує технологічні функції фосфатів (Lante et al., 2023; Correa et al., 2025).

Незважаючи на наявний достатньо широкий обсяг наукової інформації щодо використання насіння нуту, псиліуму та β-глюкану в м'ясних та м'ясо-рослинних системах, відомості про їх одночасне введення до рецептурних композицій фаршів носять фрагментарний характер. Також цікавим і недостатньо з'ясованим залишається питання впливу заміни білого шліфованого рису пророщеним насінням нуту, а фосфатного препарату природними гідроколоїдами на зміни харчової цінності фаршу та збалансованість його амінокислотного складу. Це визначає актуальність проведення відповідного наукового експерименту.

Мета дослідження полягала в оцінці харчової цінності та амінокислотної збалансованості білка голубців із пророщеним насінням нуту, β-глюканом та псиліумом.

Основними задачами дослідження було визначити вміст основних макронутрієнтів голубців контрольного та дослідного зразків, а також їх амінокислотний склад; провести оцінку збалансованості білкової складової голубців, виготовлених за контрольною та дослідною рецептурою на основі розрахованих амінокислотних СКОРів, коефіцієнту розбіжності амінокислотного СКОРу, біологічної цінності білка та коефіцієнту утилітарності.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. Наявні результати сучасних наукових досліджень свідчать про перспективність використання нуту в якості складової частини рецептур харчових продуктів комбінованого складу.

Так, результатами досліджень Begum et al. (2023) було продемонстровано наявність в насінні нуту високої масової частки білка, харчових волокон, аргініну, глутамінової та

аспарагінової кислот. Проте, дослідники зазначають низьку забезпеченість білкової складової нуту сірковмісними амінокислотами. Це створює передумови для комплексного використання насіння нуту з тваринними продуктами, але при цьому не надає чіткої та точної інформації щодо збалансованості амінокислотного складу конкретного харчового продукту.

Можливість використання продуктів переробки нуту при виробництві м'ясних продуктів досліджували також Yazdanpanah et al. (2022) та Mariod і Abd Elagdir (2024). При цьому, було показано, що додавання 6 % нутового борошна до фаршу ковбасних виробів супроводжувалось підвищенням масової частки білка та формуванню кращої консистенції. Підвищенню вмісту білка, а також зниженню втрат під час теплової кулінарної обробки сприяла також часткова заміна м'яса верблюда насінням нуту в бургерах. Проте, в обох роботах зазначається зниження біодоступності білкової складової за рахунок наявних у нуті антинутрієнтів.

Дослідження впливу процесу пророщування на харчову цінність бобових культур систематизовано в працях Avezum et al. (2023) та Gunathunga et al. (2024). Відповідно до отриманих результатів, пророщування сприяє підвищенню перетравлюваності білка та крохмалю, біодоступності інших основних нутрієнтів та зниженню вмісту антинутрієнтів, зокрема фітатів та інгібіторів травних ферментів. Поряд з цим, автори зазначають, що спрямованість, швидкість та глибина змін визначається видовими та сортовими особливостями сировини, умовами та режимами процесу пророщування. Результати даних наукових досліджень констатують перспективність використання пророщеної бобової сировини для виробництва харчових продуктів. Однак м'ясо-рослинні системи в якості об'єктів досліджень не розглядались.

Питання використання природних харчових волокон для регулювання властивостей м'ясних і м'ясо-рослинних систем є окремим напрямом сучасних інновацій. Дослідженнями Marczak і Mendes (2024) встановлено позитивний вплив природних гідроколоїдів на властивості м'ясних систем. Зокрема, було доведено, що різні види гідроколоїдів підвищують вологоутримувальну та жироутримувальну здатності фаршів, знижують рівень втрат після термічної обробки та формують консистенцію готових виробів. При цьому рівень встановленого технологічного ефекту корелює з природою, структурою та концентрацією волокон, а також з природними властивостями та хімічним складом самого продукту. В дослідженнях наведено аналіз впливу β-глюкану та псиліуму як окремих інгредієнтів для різних продуктів, тому ефективність їх комплексного використання у складі єдиної дослідної рецептури залишається не з'ясованою.

В дослідженнях Zhou et al. (2021) та Bi et al.(2024) проаналізовано механізм дії псиліуму в м'ясних системах. В роботах показано, що введення псиліуму супроводжується структурною перебудовою міофібрилярних білків, підвищенням стабільності структурних властивостей після термічної обробки. Отже, наведені результати чітко демонструють структуроутворювальні властивості псиліуму, проте позитивний ефект встановлений за додаткового впливу ультразвукової обробки. З погляду на це, наведені результати не можуть бути використані для комплексних багатокомпонентних систем без додаткових досліджень.

Результати наукових досліджень, які присвячені використанню псиліуму в м'ясних системах висвітлено в публікаціях Jovanovichs et al. (2023) та Zhao et al. (2025) Зокрема показано, що заміна 15÷30% тваринного жиру в фаршевих системах салямі гелем псиліуму супроводжується поліпшенням нутрієнтного профілю. Поряд з цим, за максимального рівня заміни автори констатують активізацію окисних процесів ліпідів і погіршення органолептичних показників виробів. Введення 0,75÷1,50 % псиліуму до рецептурної композиції м'ясних хлібів замість фосфатів сприяло зменшенню втрат після термічної обробки, формуванню необхідної консистенції та підвищенню окисної стабільності при подальшому зберіганні. Таким чином, на думку авторів, псиліум може компенсувати технологічні функції фосфатів, проте механізм комбінованого впливу псиліуму та β-глюкану авторами не розглядався.

Отже, результатами аналізу сучасних літерних джерел підтверджено ефективність використання насіння нуту при виробництві м'ясо-рослинних харчових продуктів, позитивний вплив процесу пророщування на зміни його нутрієнтного складу та функціональні властивості, а також функціонально-технологічну доцільність використання природних гідроколоїдів. Проте дослідження за даними напрямами були проведені на модельних білкових системах, ковбасних виробах і бургерах. При цьому поза увагою дослідників залишалось питання комплексного впливу пророщеного насіння нуту, β-глюкану та псиліуму на зміни харчової цінності та збалансованості амінокислотного складу білкового компоненту заморожених м'ясо-рослинних напівфабрикатів.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Об'єктом дослідження виступали заморожені м'ясо-рослинні напівфабрикати – голубці, виготовлені за контрольною та дослідною рецептурами (табл. 1).

Таблиця 1. Рецептурні композиції контрольного та дослідного зразка

Найменування інгредієнтів	Вміст інгредієнтів у зразках, %	
	контроль (КР)	дослід (ДР)
Яловичина жилована, 1 сорту, охолоджена	16,780	16,780
Філе грудки курчат-бролерів без шкіри, охолоджене	11,187	11,187
Рис білий шліфований, підготовлений	23,623	–
Насіння нуту пророщене	–	22,761
β-глюкан (за активною речовиною)	–	0,268
Псиліум (за активною речовиною)	–	0,804
Фосфатний препарат	0,210	–
Цибуля	7,000	7,000
Морква	3,500	3,500
Вода	5,250	5,250
Сіль кухонна	1,260	1,260
Спеції	0,490	0,490
Олія рослинна	0,700	0,700
Фаршева частина разом	70,000	70,000
Капуста підготовлена	30,000	30,000
Разом	100,000	100,000

Джерело: розроблено автором

Основою фаршевої системи як контрольного так і дослідного варіанту була м'ясна сировина, оптимальна загальна кількість якої була встановлена попередніми дослідженнями в кількості 27,967% зі співвідношенням яловичини та курятини 60:40. У якості рослинної складової контрольний зразок містив термічно оброблений білий шліфований рис, дослідний – пророщене насіння нуту. Рецептурний вміст рослинної складової встановлено попередніми дослідженнями. У якості структуроутворювачів до складу контрольного зразка було введено фосфатний препарат, а в дослідний – композицію β-глюкану та псиліуму зі співвідношенням останніх 1:3.

Використана для досліджень основна та допоміжна сировина за вимогами відповідала чинному нормативному законодавству України: ДСТУ 4426:2005 «М'ясо. Яловичина у відрубах. Технічні умови» (State Standard of Ukraine, 2005), ДСТУ 3143:2025 «М'ясо птиці. Загальні технічні умови» (State Standard of Ukraine, 2025), ДСТУ 7525:2014 «Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості» (State Standard of Ukraine, 2014), ДСТУ 3583:2015 «Сіль кухонна. Загальні технічні умови» (State Standard of Ukraine, 2015).

Для створення дослідних зразків використовували β-глюкан у вигляді концентрату Oat Beta Glucan 70% (Garuda International, Inc., США; дистриб'ютор в Україні – Azelis Food & Nutrition Ukraine, SKU BP417976). Відповідно до інформації виробника, масова частка β-глюкану в концентраті становила 70%, що було враховано при розрахунку рецептурної кількості інгредієнта.

Рецептурну кількість β-глюкану перераховували на вміст хімічно-чистого β-глюкану використовуючи формулу:

$$PM_{\beta\text{-глюкану}} = PM_{концентрату} \cdot 0,70 \quad (1)$$

де, $PM_{\beta\text{-глюкану}}$ – рецептурна маса хімічно чистого β-глюкану;
$PM_{концентрату}$ – рецептурна маса концентрату, г/100г;
0,70 – завлений вміст хімічно-чистого β-глюкану в концентраті.

Псиліум використовували у вигляді сухого світло-бежевого порошка з роміром часток 148÷150 мкм (0,148÷0,15 мм), який виготовлений із оболонок насіння подорожника овального *(Plantago ovata) Stark Pharm Psyllium Husks Powder 90%* (*ТОВ «Велнесфарм», Україна*). Псиліум офіційно визнаний FDA джерелом розчинних харчових волокон і використовується як харчова рослинна сировина в нормативному полі України, ЄС та США (European Commission, 2018, U.S. Food and Drug Administration, 2018, U.S. Food and Drug Administration, 2024).

Для приготування дослідних зразків виконували зачищення, обвалювання та жилування м’ясної сировини. Далі її подрібнювали на вовчку з діаметром отворів решітки 5 мм. Отриманий яловичий та курячий фарш змішували в співвідношенні 60:40. Температура м’ясної сировини на всіх етапах підготовки повинна бути < 8 °С. Білий шліфований рис для контрольного зразка промивали, доводили до необхідного ступеня готовності шляхом варіння впродовж 10÷12 хв. за гідромодуля 1:2. Пророщений та підготовлений нут промивали, видаляли поверхневу вологу та подрібнювали до часток розміром 3÷5 мм.

Цибулю мили, очищували та подрібнювали на вовчку з діаметром отворів решітки 5 мм. Моркву мили, очищували та подрібнювали на терці. Фосфатний препарат розчиняли в невеликій кількості води, яка урахована в складі рецептури, температурою 4÷8°С. Рецептурні кількості β-глюкану і псиліуму поступово розчиняли у воді, передбаченій у рецептурі, з температурою 4÷8 °С за постійного перемішування впродовж 3÷5 хвилин та витримували 20÷30 хвилин для гідратації. Процес приготування фаршу включав наступні етапи: додавання до подрібненої м’ясної основи солі, перемішування 2÷3 хв., додавання до контрольного зразка фосфатного препарату, до дослідного – гідратованої композиції природних гідроколоїдів, внесення всієї залишкової рецептурної кількості води, перемішування 3÷4 хв., додавання підготовлених овочів, спецій, олії, введення підготовлених зернових інгредієнтів – рису та пророщеного насіння нуту, перемішування 8÷10 хв. Температура готового фаршу повинна бути < 12 °С. Листя капусти, відокремлені від головки, бланшували у воді за температури 95÷98°С впродовж 3÷5 хв. та швидко охолоджували льодяною водою до температури 20 ± 1°С. У підготовлені листя виконували дозування фаршу відповідно до рецептури (табл. 1) та виконували формування голубців. Сформовані напівфабрикати заморожували в швидко морозильному апараті Rauder SRS ATT05 до температури в геометричному центрі мінус 18±1°С. Контроль температури виконували вбудованим термощупом. Тривалість процесу становила 85 хв. Заморожені контрольні та дослідні зразки напівфабрикатів пакували та зберігали в морозильній камері за температури мінус 18±1°С впродовж 24 годин. Перед проведенням експериментальних досліджень виконували теплову обробку зразків в пароконвекційному режимі за температури 160 ± 2 °С, відносній вологості 60÷70% до досягнення температури в геометричному центрі 75 ± 1 °С. Після термічної обробки голубці охолоджували до температури 18÷20 °С та готували об’єднану лабораторну пробу. Для її приготування відбирали щонайменше п’ять екземплярів виробів, подрібнювали всі частини виробів без виключення капустяної оболонки.

У підготовлених лабораторних пробах визначали масову частку вологи контрольним термогравіметричним методом, білку – стандартним методом К'єльдаля, жиру – методом Сокслета на аналізаторі жиру SOX 406, золи – ваговим методом після мінералізації проби в муфельній печі за температури 500÷600 °С, харчових волокон – ферментативно-гравіметричним методом згідно AOAC Official Method 985.29 (Bal-Prylypko, et al., 2023). Визначення вмісту вуглеводів виконували розрахунковим методом. Амінокислотний склад білкової складової визначали методом іонообмінної хроматографії відповідно до нормованого документу (AOAC International, 1994).

Розрахунок амінокислотного СКОРу (AAS_i) виконували за формулою 2:

$$AAS_i = \frac{AA_i}{AA_{i,ref}} \cdot 100 \quad (2)$$

де, AA_i – вміст певної незамінної амінокислоти в білковій складовій аналізованого зразка, мг/г білка;

$AA_{i,ref}$ – вміст незамінної амінокислоти в еталонному білку, мг/г білка.

Для розрахунку коефіцієнту розбіжності амінокислотного СКОРу (*CAASD, %*) використовували формулу 3:

$$CAASD = \frac{\sum_{i=1}^{n}(AAS_i - AAS_{min})}{n} \quad (3)$$

де, AAS_{min} – значення мінімального амінокислотного СКОРу серед аналізованих незамінних амінокислот, %,

n – кількість незамінних амінокислот, або їх груп.

Показник біологічної цінності білкової складової (BV_{calc}) аналізованих зразків розраховували за формулою 4:

$$BV_{calc} = 100 - CAASD \quad (4)$$

Розрахунок коефіцієнту утилітарності амінокислотного складу білка (U) виконували за формулою 5:

$$U = \frac{AAS_{min}}{100} \frac{\sum_{i=1}^{n} AA_{i,ref}}{\sum_{i=1}^{n} AA_i} \quad (5)$$

Експериментальні визначення проводили не менше ніж у п'яти повтореннях, які являли собою п'ять незалежно виготовлених лабораторних партій кожного варіанта (n = 5). Розрахунки виконували в Microsoft Excel (Microsoft, США). Результати визначень подавали як Xсер ± SD. Статистичну значущість відмінностей оцінювали методом однофакторного дисперсійного аналізу з подальшим тестом Тьюкі за $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Результати визначення масової частки основних нутрієнтів, які формують харчову цінність голубців представлено в таблиці 2. Введення до складу рецептурної композиції пророщеного нуту та композиції гідроколоїдів супроводжувалось статистично достовірною зміною харчової цінності голубців.

Таблиця 2. Вміст основних макронутрієнтів у голубцях

Аналізований показник	КР	ДР	$НІР_{0,05}$
Масова частка вологи, %	68,60±0,48[b]	69,23±0,38[a]	0,63
Масова частка білка, г/100 г	10,02±0,16 [b]	11,21±0,21 [a]	0,27

Масова частка жиру, г/100 г	3,37±0,08 [b]	3,55±0,07 [a]	0,11
Масова частка золи, г/100 г	2,34±0,07[a]	2,31±0,04[a]	0,08
Масова частка харчових волокон, г/100 г	1,65±0,19[b]	4,19±0,13[a]	0,24
Розрахунковий вміст вуглеводів, г/100 г	14,01±0,58[a]	9,51±0,51[b]	0,80

Джерело: розроблено автором на основі експериментальних досліджень

Так, в дослідних зразках голубців було встановлено статистично достовірне зростання масової частки білка на 11,9% ($p < 0,05$) порівняно з контрольними зразками.

Максимальний позитивний ефект від зміни рецептурних інгредієнтів встановлено для масової частки харчових волокон. При цьому значення даного показника в дослідних зразках перевищувало контрольні в 2,54 рази ($p < 0,05$), що пов'язано з внесенням інгредієнтів, які вважаються джерелами харчових волокон. Поряд з цим, відзначено зниження розрахункового вмісту вуглеводів майже на 32% ($p < 0,05$).

Отримані експериментальні дані свідчать про незначне (0,63 в.п.), проте статистично достовірне зростання масової частки вологи в дослідних голубцях.

Зміни масової частки жиру в дослідних зразках також були незначними, проте статистично достовірними. При цьому абсолютна різниця з контрольними зразками становила 0,18 г/100 г і не мала технологічного значення.

Між масовою часткою золи в контрольних та дослідних зразках статистично достовірної різниці не було встановлено. Таким чином, заміна рецептурних інгредієнтів голубців не супроводжувалась змінами вмісту мінеральних речовин.

З метою визначення біологічної цінності білкового компоненту голубців було визначено вміст амінокислот (табл. 3).

Таблиця 3. Амінокислотний склад голубців

Назва незамінної амінокислоти	**Вміст амінокислоти, г/100 г**		**НІР$_{0,05}$**
	КР	**ДР**	
Гістидин	0,310±0,021[a]	0,336±0,040 [a]	0,047
Ізолейцин	0,425±0,005[b]	0,470±0,020 [a]	0,021
Лейцин	0,755±0,023 [b]	0,806±0,030 [a]	0,039
Лізин	0,650±0,011 [b]	0,795±0,032 [a]	0,035
Метіонін	0,205±0,003 [a]	0,190±0,004 [b]	0,005
Цистин	0,112±0,006 [a]	0,112±0,032 [a]	0,034
Фенілаланін	0,410±0,031 [b]	0,448±0,015 [a]	0,036
Тирозин	0,320±0,041 [a]	0,336±0,025 [a]	0,049
Треонін	0,390±0,005 [b]	0,437±0,012 [a]	0,013
Триптофан	0,108±0,007 [a]	0,114±0,011 [a]	0,013
Валін	0,475±0,006 [b]	0,526±0,004 [a]	0,007
Аланін	0,540±0,031 [b]	0,594±0,005 [a]	0,032
Аргінін	0,500±0,024 [b]	0,638±0,004 [a]	0,025
Аспарагінова кислота	0,820±0,054 [b]	1,019±0,006 [a]	0,056
Глутамінова кислота	1,550±0,024 [b]	1,691±0,021 [a]	0,033
Гліцин	0,450±0,002 [b]	0,482±0,005 [a]	0,006
Пролін	0,405±0,011 [b]	0,470±0,009 [a]	0,015
Серин	0,380±0,002 [b]	0,437±0,006 [a]	0,007
Сума амінокислот	8,805	9,901	

Джерело: розроблено автором на основі експериментальних досліджень

Наведені результати констатують, що сумарний вміст визначених амінокислот у дослідних зразках голубців був на 12,4% вищим порівняно з контрольними зразками. Максимальне статистично достовірне зростання було встановлено для аргініну, аспарагінової кислоти та лізину. Поряд з цим було відзначено зниження вмісту метіоніну на 7,3%, а вміст цистину був однаковим із контрольним зразком. Таким чином, заміна рецептурних інгредієнтів у дослідних зразках сприяла збільшенню загальної кількості амінокислот і збагаченню готового продукту лізином, проте зумовила необхідність проведення оцінки СКОРу окремих амінокислот. Результати визначення амінокислотного СКОРу представлені в таблиці 4.

Таблиця 4. Результати розрахунку амінокислотного СКОРу білка голубців

Найменування незамінної амінокислоти	Еталон, г/100 г білка	КР, мг/г білка	СКОР КР, %	ДР, мг/г білка	СКОР ДР, %
Гістидин	16,0	30,9	193,4	30,0	187,3
Ізолейцин	30,0	42,4	141,4	41,9	139,8
Лейцин	61,0	75,3	123,5	71,9	117,9
Лізин	48,0	64,9	135,1	70,9	147,7
Метіонін+цистин	23,0	31,6	137,6	26,9	117,1
Фенілаланін+тирозин	41,0	72,9	177,7	69,9	170,6
Треонін	25,0	38,9	155,7	39,0	155,9
Триптофан	6,6	10,8	163,3	10,2	154,1
Валін	40,0	47,4	118,5	46,9	117,3

Джерело: розроблено автором на основі експериментальних досліджень

Наведені в таблиці результати розрахунків свідчать, що значення амінокислотного СКОРу усіх незамінних амінокислот як контрольних так і дослідних зразків перевищували 100%. Отже дефіциту незамінних амінокислот не виявлено. Найменше значення для зразків, які виготовлені за контрольною рецептурою встановлено для валіну, натомість дослідного – для метіоніну і цистину. Заміна білого шліфованого рису пророщеним нутом істотно підвищило СКОР лізину.

Результати визначення узагальненої оцінки біологічної цінності білка контрольних і дослідних зразків голубців представлена в таблиці 5.

Таблиця 5. Узагальнена оцінка біологічної цінності білка голубців

Аналізований показник	Значення показника	
	КР	ДР
Загальний білок, г/100 г	10,02	11,21
Мінімальний амінокислотний СКОР, %	118,5	117,1
CAASD, %	31,06	28,17
BV_{calc}, %	68,94	71,83
U	0,830	0,835

Джерело: розроблено автором на основі експериментальних досліджень

Наведені результати узагальненої оцінки біологічної цінності білка констатують, що не дивлячись на дещо нижчий рівень мінімального амінокислотного СКОРу, дослідний зразок характеризувався більш рівномірним розподілом незамінних амінокислот відносно мінімального СКОРу, про що свідчить нижче значення *CAASD*. Виходячи з цього,

розрахункова біологічна цінність білка зразків голубців, виготовлених за дослідною рецептурою, перевищувала значення показника контрольних зразків на 4,2%. Коефіцієнт утилітарності дослідних зразків також був вищим порівняно з контрольним.

Встановлене зростання вмісту білка на 11,9 % і харчових волокон у 2,54 рази цілком узгоджується з результатами Begum et al. (2023), відповідно до яких нут є цінною бобовою культурою з високим білка та харчових волокон. Крім того, авторами відзначено високий вміст в насінинах нуту аргініну, глутамінової та аспарагінової кислот. Такі результати узгоджуються зі встановленими в даних дослідженнях зростанням вмісту аргініну та аспарагінової кислоти. Відмінність полягає в тому, що об'єктом дослідження Begum et al. (2023) були безпосередньо насінини нуту, натомість у даній роботі досліджували кулінарно оброблений заморожений напівфабрикат комбінованого м'ясо-рослинного складу. З погляду на це, ступінь змін визначалась не тільки хімічним складом нуту, а й рецептурною кількістю кожного інгредієнту продукту.

В дослідженнях Sofi et al. (2023) було показано, що внаслідок пророщування насіння нуту змінюється його білкова фракція та покращуються функціонально-технологічні властивості. Отримані в цій роботі результати узгоджуються з наведеними результатами досліджень і підтверджують доцільність використання пророщеного нуту для підвищення харчової цінності комбінованого продукту. Поряд з цим, поширювати наявні літературні дані на функціонально-технологічні властивості голубців передчасно, оскільки відповідної експериментальної верифікації не проводилось. Під час інтерпретації результатів також необхідно ураховувати відмінності в режимних параметрах процесу пророщування насіння нуту та подальшу технологічну обробку продукту.

Важливе значення для оцінки отриманого ефекту має спосіб введення нуту до рецептури та його технологічні функції. У дослідженні Yazdanpanah et al. (2022) використано нутове борошно як складову ковбасного фаршу, натомість Mariod і Abd Elagdir (2024) частково замінювали м'ясну сировину в бургерах. У даному дослідженні пророщеними насінинами нуту замінювали білий шліфований рис за незмінної кількості м'ясної сировини. Тому зростання вмісту білка в голубцях можна пояснити заміною основного рослинного інгредієнта, а не підвищенням частки м'яса. Це, одночасно, дозволило зменшити вміст вуглеводів і підвищити вміст харчових волокон, не змінюючи співвідношення яловичини та курятини.

Підвищення масової частки вологи на 0,63 в.п. в дослідних зразках голубців відбулось не дивлячись на однакову кількість доданої води та м'ясної сировини в рецептурних композиціях. Це дає можливість припустити, що відмінність пов'язана з кращими вологоутримувальними властивостями змінених інгредієнтів дослідної рецептури. Таке припущення цілком узгоджується з високими гідратаційними властивостями псиліуму та його впливом на зміни структури білкових систем, встановленими Zhou et al. (2021) і Bi et al. (2024). Разом із тим, визначення вологоутримувальної здатності, рівня втрат під час термічної обробки та структурно-механічних властивостей готових голубців не входило до задач даного етапу дослідження. Тому механізм виявлених змін потребує подальшої експериментальної верифікації.

Зростання масової частки харчових волокон у 2,54 рази було максимально вираженою зміною складу дослідного зразка, яка є прямим наслідком введення пророщеного насіння нуту та природних гідроколоїдів. За даними Marczak і Mendes (2024), технологічних ефект харчових волокон визначається їх хімічною природою, ступенем розчинності, розміром часток, концентрацією та характером взаємодії з іншими компонентами харчової системи. У дослідженні Noguerol et al. (2022) псиліум виступав основним гідроколоїдом рослинної харчової системи з високим вмістом крохмалю, а його вологоутримувальна здатність впливала на ступінь желатинізації крохмалю нуту та механічні властивості веганських ковбас. Інший механізм формування властивостей харчового продукту представлено в роботах Jovanovichs et al. (2023) і Zhao et al. (2025). У першій – гель псиліуму використовували для часткової заміни

тваринного жиру в салямі. При цьому, зміни нутрієнтного складу були пов'язані насамперед із перерозподілом жирової фракції. У другій – порошок псиліуму вводили до складу безфосфатних формованих варених ковбас з метою регулювання їх технологічних властивостей. У розробленій рецептурній композиції голубців кількість м'ясної сировини та олії не відрізнялась від контролю, тоді як псиліум вводили у складі комплексною композиції із β- глюканом за одночасної заміни рису пророщеним нутом. Отже, збільшення вмісту харчових волокон пов'язано з комплексною зміною рослинної складової та можливої взаємодії гідроколоїдів із білками і крохмалем.

Зміна вмісту масової частки жиру в дослідному зразку становила лише 0,18 г/100 г і, незважаючи на статистичну достовірність, не мала технологічного значення. Незмінний вміст золи також свідчить, що зміна рецептурних інгредієнтів не спричинила істотного загального збагачення голубців мінеральними речовинами.

Визначення та подальший аналіз амінокислотного складу дозволив конкретизувати характер зростання білкової складової. Сумарний вміст визначених амінокислот у дослідному зразку збільшився на 12,4%, причому найбільші зміни встановлено для аргініну, аспарагінової кислоти та лізину. Отримані результати відповідають особливостям амінокислотного профілю нуту, який визначений у дослідженнях Begum et al. (2023) та Sofi et al. (2023). Особливе фізіологічне значення має підвищення СКОРу лізину з 135,1 до 147,7 %, оскільки ця амінокислота є слабкою ланкою білка білого шліфованого рису. Поряд з цим, зменшення вмісту метіоніну на 7,3% супроводжувалось зміною амінокислоти з мінімальним СКОРом: у контрольному зразку це був валін, а в дослідному – сума метіоніну і цистину. Не дивлячись на встановлене зниження СКОРів деяких амінокислот, значення їх залишалися вищими за 100%, тому дефіциту незамінних амінокислот у дослідному продукті не сформувалося.

Узагальнена оцінка показала, що дещо нижчий мінімальний амінокислотний СКОР дослідного зразка не призвів до зниження розрахункової біологічної цінності білка. Навпаки, зменшення коефіцієнту розбіжності амінокислотних СКОРів (CAASD) з 31,06 до 28,17% свідчило про більш рівномірне співвідношення СКОРів незамінних амінокислот відносно мінімального значення. У результаті біологічна цінність білка (BV_{calc}) зросла на 4,2 %, а коефіцієнт утилітарності – на 0,6 % Таким чином, перевага дослідного зразка визначалася не максимальним значенням окремого СКОРу, а меншою розбіжністю амінокислотного профілю. Слід зазначити, що наведені розрахункові показники характеризують потенційну збалансованість білка і не враховують його фактичної перетравлюваності. Подальші дослідження доцільно спрямувати на визначення перетравлюваності білка, залишкового вмісту антинутрієнтів, а також функціонально-технологічних та органолептичних властивостей готових голубців.

ВИСНОВКИ. За результатами експериментальних досліджень встановлено статистично достовірні зміни харчової цінності голубців, виготовлених за дослідними рецептурами з використанням пророщеного нуту, β-глюкану та псиліуму. Порівняно з контрольним зразком у дослідних зразках вміст білка збільшився на 11,9 %, харчових волокон – у 2,54 раза, тоді як вміст вуглеводів знизився майже на 32 %.

Встановлено також збільшення сумарного вмісту визначених амінокислот у дослідних зразках, причому найбільш виражене зростання зафіксовано для лізину, аргініну та аспарагінової кислоти.

Амінокислотний СКОР білка в обох зразках перевищував 100 %, що свідчить про достатній рівень забезпечення незамінними амінокислотами. Водночас мінімальний амінокислотний СКОР дослідного зразка становив 117,1 % порівняно зі 118,5 % у контрольному, а СКОР метіоніну та цистину знизився зі 163,6 до 117,1 %. При цьому коефіцієнт розбіжності амінокислотного СКОРу дослідного зразка був на 9,3 % нижчим, тоді як розрахункова біологічна цінність білка та коефіцієнт утилітарності перевищували відповідні показники контрольного зразка на 4,2 % і 0,6 % відповідно.

Таким чином, використання пророщеного нуту, β-глюкану та псиліуму в рецептурі голубців забезпечує підвищення їх харчової цінності, сприяє збільшенню вмісту білка й харчових волокон та покращує амінокислотну збалансованість білкової складової готового продукту.

Подяки. Немає.
Конфлікт інтересів. Немає.

References

AOAC International. (1994). Amino acids in feeds (Official Method 994.12). In Official methods of analysis of AOAC International.

Avezum, L., Rondet, E., Mestres, C., Achir, N., Madode, Y., Gibert, O., Lefevre, C., Hemery, Y., Verdeil, J.-L., & Rajjou, L. (2023). Improving the nutritional quality of pulses via germination. *Food Reviews International*, 39(9), 6011–6044. https://doi.org/10.1080/87559129.2022.2063329

Bal-Prylypko, L. V., Korniienko, V. I., Khyzhniak, S. V., Kryzhova, Y. P., Nikolaienko, M. S., Voitsitskyi, V. M., & Androshchuk, O. S. (2023). Modern methods of research of raw materials and food products: Textbook. *National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*.

Bal-Prylypko, L., Serdyuk, M., Holembovska, N., Voitsekhivskyi, V., & Kovalenko, R. (2025). Justification of the technology of sausage products using plant functional ingredients. *Animal Science and Food Technology*, 16(3), 86–104. https://doi.org/10.31548/animal.3.2025.86

Begum, N., Khan, Q. U., Liu, L. G., Li, W., Liu, D., & Haq, I. U. (2023). Nutritional composition, health benefits and bio-active compounds of chickpea (*Cicer arietinum L.*). *Frontiers in Nutrition*, 10, 1218468. https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1218468

Bi, J., Sun, Y., Pan, D., Zhou, C., & Du, L. (2024). Effect of ultrasound combined with psyllium husk powder on the structure and gel properties of goose myofibrillar protein. *Process Biochemistry*, 136, 202–211. https://doi.org/10.1016/j.procbio.2023.12.003

Correa, L. P., Lorenzo, J. M., & Campagnol, P. C. B. (2025). Psyllium (Plantago ovata) in meat product reformulation: Technological, nutritional, and functional perspectives. *Food Science and Processing*, 1, Article 6. https://doi.org/10.53941/fsp.2025.100006

European Commission. (2018). Commission Regulation (EU) 2018/62 of 17 January 2018 replacing Annex I to Regulation (EC) No 396/2005 of the European Parliament and of the Council. Official Journal of the European Union.

Gunathunga, C., Senanayake, S., Jayasinghe, M. A., Brennan, C. S., Truong, T., Marapana, U., & Chandrapala, J. (2024). Germination effects on nutritional quality: A comprehensive review of selected cereals and pulses changes. *Journal of Food Composition and Analysis*, 128, 106024. https://doi.org/10.1016/j.jfca.2024.106024

Jayaprakash, G., Bains, A., Chawla, P., Fogarasi, M., & Fogarasi, S. (2022). A narrative review on rice proteins: Current scenario and food industrial application. *Polymers*, 14(15), 3003. https://doi.org/10.3390/polym14153003

Jha, U. C., Nayyar, H., Thudi, M., Beena, R., Vara Prasad, P. V., & Siddique, K. H. M. (2024). Unlocking the nutritional potential of chickpea: Strategies for biofortification and enhanced multinutrient quality. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1391496. https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1391496

Jovanovichs, M. R. C., Pinton, M. B., Correa, L. P., Pedro, D., Mallmann, C. A., Wagner, R., Cichoski, A. J., Lorenzo, J. M., Teixeira, A. J. C., Campagnol, P. C. B., & dos Santos, B. A. (2023). Replacing animal fat with gels of psyllium fiber and combined linseed oil–psyllium fiber in salamis: Impacts on technological, nutritional, oxidative, and sensory properties. *Foods*, 12(13), 2439. https://doi.org/10.3390/foods12132439

Lante, A., Canazza, E., & Tessari, P. (2023). Beta-glucans of cereals: Functional and technological properties. *Nutrients*, 15(9), 2124. https://doi.org/10.3390/nu15092124

Marczak, A., & Mendes, A. C. (2024). Dietary fibers: Shaping textural and functional properties of processed meats and plant-based meat alternatives. Foods, 13(12), 1952. https://doi.org/10.3390/foods13121952

Mariod, A. A., & Abd Elagdir, M. (2024). Effect of partial replacement of meat with chickpea flour, soybean flour and skimmed milk powder on physicochemical and sensory evaluation properties of camel meat burger. *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), 2321673. https://doi.org/10.1080/23311932.2024.2321673

Mishra, B. P., Mishra, J., Paital, B., Rath, P. K., Jena, M. K., Reddy, B. V. V., Pati, P. K., Panda, S. K., & Sahoo, D. K. (2023). Properties and physiological effects of dietary fiber-enriched meat products: A review. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1275341. https://doi.org/10.3389/fnut.2023.1275341

Noguerol, A. T., Larrea, V., & Pagán, M. J. (2022). The effect of psyllium (Plantago ovata Forsk) fibres on the mechanical and physicochemical characteristics of plant-based sausages. *European Food Research and Technology*, 248(10), 2483–2496. https://doi.org/10.1007/s00217-022-04063-2

Pérez-Ramírez, I. F., Escobedo-Alvarez, D. E., Mendoza-Sánchez, M., Rocha-Guzmán, N. E., Reynoso-Camacho, R., Acosta-Gallegos, J. A., & Ramos-Gómez, M. (2023). Phytochemical profile and composition of chickpea (*Cicer arietinum L.):* Varietal differences and effect of germination under elicited conditions. *Plants*, 12(17), 3093. https://doi.org/10.3390/plants12173093

Sofi, S. A., Rafiq, S., Singh, J., Mir, S. A., Sharma, S., Bakshi, P., McClements, D. J., Mousavi Khaneghah, A., & Dar, B. N. (2023). Impact of germination on structural, physicochemical, techno-functional, and digestion properties of desi chickpea (*Cicer arietinum L.*) flour. *Food Chemistry*, 405, 135011. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.135011

State Standard of Ukraine. (2005). Meat. Beef cuts. Specifications (DSTU 4426:2005). Derzhspozhyvstandart of Ukraine.

State Standard of Ukraine. (2014). Drinking water. Requirements and methods of quality control (DSTU 7525:2014). Ministry of Economic Development of Ukraine.

State Standard of Ukraine. (2015). Table salt. General specifications (DSTU 3583:2015). UkrNDNC.

State Standard of Ukraine. (2025). Poultry meat. General specifications (DSTU 3143:2025). UkrNDNC.

U.S. Food and Drug Administration. (2018). Review of the scientific evidence on the physiological effects of certain non-digestible carbohydrates.

U.S. Food and Drug Administration. (2024). Authorized health claims that meet the significant scientific agreement (SSA) standard.

Yazdanpanah, S., Ansarifard, S., & Hasani, M. (2022). Development of novel gluten-free sausage based on chickpea, corn flour, and HPMC. *International Journal of Food Science*, 2022(1), 3616887. https://doi.org/10.1155/2022/3616887

Zhao, Z., Sun, N., Li, C., Kong, B., Xia, X., Sun, F., Liu, Q., & Cao, C. (2025). Application of psyllium husk powder addition on the textural properties, oxidative stability and sensory attributes of non-phosphates luncheon meat. *Meat Science*, 222, 109760. https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2025.109760

Zhou, Y., Dai, H., Ma, L., Yu, Y., Zhu, H., Wang, H., & Zhang, Y. (2021). Effect and mechanism of psyllium husk (*Plantago ovata*) on myofibrillar protein gelation. *LWT*, 138, 110651. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110651