

УДК 664.8/9:664.87:519.876

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.2.2026.129>

ОЦІНКА БІОЛОГІЧНОЇ ЦІННОСТІ М'ЯСО-РОСЛИННИХ КОНСЕРВІВ ДРУГИХ СТРАВ МЕТОДОМ ФАКТОРНИХ ПЛОЩ

Кирило Олексійович Петриченко

аспірант

<https://orcid.org/0009-0006-1819-4255>

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

Михайло Михайлович Муштрук

Кандидат технічних наук, доцент

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

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

Анотація. Збалансованість амінокислотного складу харчових продуктів є одним із ключових чинників забезпечення їхньої біологічної цінності та відповідності фізіологічним потребам людини. Особливої актуальності набуває розроблення м'ясо-рослинних консервів підвищеної харчової цінності з використанням сучасних підходів до інтегрального оцінювання їхньої якості. Метою роботи було здійснення математичного моделювання та комплексної оцінки якості м'ясо-рослинних консервів для других страв за вмістом незамінних амінокислот із застосуванням методу факторних площ.

Для досягнення поставленої мети використано експериментальні дані щодо амінокислотного складу контрольного зразка та 3 дослідних зразків консервованої продукції. Оцінювання здійснювали шляхом порівняння вмісту незамінних амінокислот із нормативними значеннями, рекомендованими ФАО/ВООЗ. Математичне моделювання виконували методом факторних площ із переведенням показників у безрозмірні одиниці та побудовою геометричних моделей якості продукції.

Установлено, що всі дослідні зразки характеризувалися вищими показниками біологічної цінності порівняно з контрольним зразком. Для зразка № 1 коефіцієнт відповідності інтервалу якості становив 1,16, що свідчить про перевищення нормативного рівня якості на 16,15 %. Найбільше перевищення нормативних значень зафіксовано для лізину, ізолейцину та сукупності фенілаланіну і тирозину. Для зразка № 2 величина коефіцієнта відповідності становила 1,26, що відповідало зростанню інтегральної оцінки якості на 26,33 %. Дослідний зразок №3 характеризувався найкращими показниками серед усіх варіантів рецептури. Значення коефіцієнта відповідності інтервалу якості становило 1,35, а частка перевищення нормативного рівня досягала 35,1 %. Встановлено, що саме зразок №3 забезпечував найвищий рівень збалансованості амінокислотного складу та найбільшу площу факторного простору, яка становила 3,84 ум. од.². Порівняно з контрольним зразком його інтегральний показник якості був вищим на 51 %.

Отримані результати підтверджують ефективність використання методу факторних площ для комплексного оцінювання біологічної цінності харчових продуктів та можуть бути використані під час розроблення нових рецептур м'ясо-рослинних консервів із функціональним призначенням.

Ключові слова: незамінні амінокислоти, амінокислотний скор, інтегральне оцінювання, факторний простір, білкова цінність, функціональні продукти, збалансоване харчування.

UDC 664.8/9:664.87:519.876

<https://doi.org/10.31548/humanhealth.2.2026.129>

ASSESSMENT OF THE BIOLOGICAL VALUE OF MEAT AND PLANT CANNED SECOND-COURSE PRODUCTS USING THE FACTOR AREA METHOD

Kirilo Petrychenko

Postgraduate student

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

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

03041, Vystavkova Str., 16, Kyiv, Ukraine

Mikhailo Mushtruk

PhD in Technical Sciences, Associate Professor

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

National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine

03041, 15 Heroes of Defense St., Kyiv, Ukraine.

Abstract. Providing the population with high-biological-value food products is one of the priority directions in the development of modern food technologies. The development of meat-and-plant canned second-course products capable of supplying the human body with a balanced complex of essential amino acids is of particular importance. In this regard, the application of modern methods for the integrated assessment of nutritional and biological value is highly relevant. This study aimed to evaluate the biological value of meat-and-plant canned second-course products based on their essential amino acid composition using the factor area method.

The study's objects were a control sample and three experimental samples of meat-and-plant canned products. The assessment was performed by comparing the amino acid composition of the products with the FAO/WHO-recommended reference values. For the integrated characterization of product quality, the factor area method was applied, including transforming quality indicators into dimensionless values, constructing geometric models of the factor space, and determining quality compliance coefficients.

The results demonstrated that all experimental samples exhibited higher biological value than the control sample. For Sample 1, the quality compliance coefficient was 1.16, indicating that the biological value exceeded the reference level by 16.15%. Sample 2 showed a coefficient of 1.26, corresponding to a 26.33% increase compared with the reference value. The highest biological value was observed for Sample 3, for which the quality compliance coefficient reached 1.35, while the excess over the reference level amounted to 35.1%. It was established that lysine, isoleucine, and the combined content of phenylalanine and tyrosine made the greatest contribution to the improvement of biological value in the experimental formulations. The factor space area for Sample 3 reached 3.84 conventional units², the highest among all tested formulations. Compared with the control sample, the integrated quality index of Sample 3 was 51% higher.

The findings confirmed that the factor area method is an effective tool for the comprehensive quantitative assessment of the biological value of food products and for identifying the most promising formulation solutions. The practical significance of the study lies in the potential to apply the results to the development of meat-and-plant canned products with enhanced nutritional and biological value, intended for rational human nutrition.

Keywords: essential amino acids, amino acid score, integrated assessment, factor space, protein quality, functional foods, balanced nutrition.

ВСТУП. Забезпечення населення повноцінними харчовими продуктами є одним із ключових завдань сучасної харчової науки та технології. Особлива увага приділяється створенню продуктів, які не лише задовольняють енергетичні потреби організму, а й забезпечують надходження необхідних нутрієнтів у збалансованому співвідношенні (Gaudichon, 2024). У структурі харчування людини білки відіграють провідну роль завдяки участі в процесах росту, регенерації тканин, синтезі ферментів і гормонів, а також підтриманню функціональної активності організму (Ling et al., 2023; Val-Prylypko et al., 2024a).

Одним із найважливіших критеріїв оцінювання білкової складової харчових продуктів є їхня біологічна цінність, яка визначається насамперед вмістом і співвідношенням незамінних амінокислот (FAO, 2013). Дефіцит хоча б однієї незамінної амінокислоти може обмежувати ефективність використання інших амінокислот організмом, що знижує харчову цінність продукту незалежно від загального вмісту білка (Kasprzyk, 2025). Саме тому розроблення рецептур із оптимізованим амінокислотним складом є одним із пріоритетних напрямів сучасних досліджень у галузі харчових технологій (Skwarek & Karwowska, 2023).

Перспективним підходом до підвищення біологічної цінності харчових продуктів є поєднання сировини тваринного та рослинного походження. М'ясо забезпечує високий вміст повноцінних білків, тоді як рослинні компоненти дозволяють збагатити продукт харчовими волокнами, мінеральними речовинами та біологічно активними сполуками (Stanišić et al., 2025). Комбінування таких інгредієнтів сприяє формуванню збалансованого амінокислотного профілю та створенню продуктів із підвищеною функціональною цінністю (Martínez et al., 2024; Val-Prylypko et al., 2024b).

Серед широкого асортименту харчової продукції значний інтерес становлять м'ясо-рослинні консерви других страв, які характеризуються тривалим терміном зберігання, зручністю в користуванні та високою харчовою цінністю. Водночас удосконалення їх рецептурного складу потребує застосування сучасних методів комплексного оцінювання якості, здатних враховувати сукупність взаємопов'язаних показників (Li et al., 2022). Традиційні методи аналізу дозволяють оцінювати окремі характеристики продукту, однак не завжди забезпечують можливість інтегрального порівняння різних рецептур між собою та з еталонними значеннями (Kowalska et al., 2023).

У зв'язку з цим дедалі більшого поширення набувають математичні методи моделювання якості харчових продуктів. Використання факторних просторів і геометричних моделей дає змогу здійснювати комплексне оцінювання багатокомпонентних систем, визначати рівень відповідності продукції нормативним вимогам і виявляти найбільш перспективні рецептурні рішення (Chen & Pan, 2023). Метод факторних площ належить до сучасних інструментів інтегрального аналізу, які дозволяють узагальнювати результати багатопараметричних досліджень і кількісно оцінювати якісний стан харчових продуктів за сукупністю визначених критеріїв (Erdogdu, 2023).

Незважаючи на значну кількість досліджень, присвячених оцінюванню амінокислотного складу харчових продуктів, питання комплексної оцінки біологічної цінності м'ясо-рослинних консервів для других страв із використанням математичних методів моделювання залишається недостатньо вивченим. Це зумовлює необхідність проведення досліджень, спрямованих на інтегральне оцінювання амінокислотного профілю та визначення найбільш збалансованих рецептур.

МЕТА ДОСЛІДЖЕННЯ - оцінка біологічної цінності м'ясо-рослинних консервів других страв за вмістом незамінних амінокислот із застосуванням методу факторних площ.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. Забезпечення населення повноцінними білковими продуктами є одним із пріоритетних завдань сучасної науки харчування. Встановлено, що рівень забезпеченості організму білками значною мірою визначає інтенсивність обмінних процесів, функціонування імунної системи, синтез ферментів і гормонів, а також загальний стан здоров'я людини. Водночас харчова цінність білка визначається не лише його кількістю, а й якісним складом, насамперед вмістом незамінних амінокислот (FAO, 2023).

Згідно з рекомендаціями FAO/WHO, критерієм оцінки якості харчового білка є ступінь відповідності його амінокислотного складу фізіологічним потребам організму людини. Особливе значення мають валін, ізолейцин, лейцин, лізин, метіонін, цистин, треонін, триптофан, фенілаланін та тирозин, які не синтезуються або синтезуються в недостатній кількості в організмі людини і повинні надходити з їжею. Дефіцит хоча б однієї із зазначених амінокислот призводить до зниження ефективності використання інших амінокислот та погіршення біологічної цінності продукту незалежно від загального вмісту білка (Moughan & Lim, 2024).

У роботі Ishii & Bhatia (2023) доведено, що саме амінокислотний склад є найбільш інформативною характеристикою білкової якості харчових продуктів. Автори встановили пряму залежність між збалансованістю незамінних амінокислот і рівнем засвоєння білка організмом людини. Аналогічних висновків дійшли Matthews et al. (2025), які зазначають, що сучасні підходи до оцінювання харчової цінності мають враховувати не лише вміст білка, а й амінокислотну повноцінність.

Одним із перспективних напрямів підвищення біологічної цінності харчових продуктів є створення комбінованих м'ясо-рослинних систем. Такий підхід дозволяє поєднати високу біологічну цінність білків тваринного походження з функціональними властивостями рослинної сировини. За даними Kowalska et al. (2023), використання рослинних компонентів у складі м'ясних продуктів сприяє оптимізації амінокислотного профілю, підвищенню вмісту харчових волокон і біологічно активних речовин.

Martínez et al. (2024) встановили, що поєднання білків різного походження дозволяє усунути дефіцит лімітуючих амінокислот і забезпечити більш повне використання білкової складової організмом людини. Автори підкреслюють, що саме комбіновані рецептури відкривають нові можливості для створення функціональних продуктів із підвищеною харчовою цінністю.

Особливий інтерес серед комбінованих продуктів становлять м'ясо-рослинні консерви для другої страви. Вони поєднують високу поживну цінність, тривалий термін зберігання та технологічну стабільність під час зберігання і транспортування. Крім того, така продукція характеризується значним потенціалом для оптимізації рецептурного складу завдяки використанню різних видів рослинної сировини. Саме тому останніми роками спостерігається зростання кількості досліджень, спрямованих на вдосконалення рецептур консервованих продуктів і підвищення їхньої біологічної цінності.

Важливим етапом розроблення нових харчових продуктів є об'єктивне оцінювання їхньої якості. Традиційно для цього використовують амінокислотний скор, індекс незамінних амінокислот, Biological Value, Protein Digestibility Corrected Amino Acid Score та Digestible Indispensable Amino Acid Score. Проте більшість зазначених методів передбачає аналіз окремих показників і не дозволяє отримати узагальнену характеристику якості багатокомпонентної харчової системи (Hoffer, 2016).

У зв'язку з цим останнім часом активно розвиваються методи математичного моделювання якості харчових продуктів. Їхнє застосування дає змогу інтегрувати велику кількість показників у єдину систему оцінювання та порівнювати різні рецептурні рішення за узагальненими критеріями. Особливе місце серед таких підходів займають багатофакторні методи аналізу, що базуються на використанні математичного апарату факторних просторів.

Відомо, що факторний простір є сукупністю параметрів, які визначають якісний стан досліджуваного об'єкта. Під час оцінювання харчових продуктів такими параметрами можуть бути фізико-хімічні, технологічні, структурно-механічні, органолептичні та харчові характеристики. Переведення зазначених показників у безрозмірну форму дозволяє порівнювати їх незалежно від розмірності та абсолютних величин.

Одним із різновидів багатофакторного аналізу є метод факторних площ, який ґрунтується на побудові геометричних моделей якості продукції. Сутність методу полягає у представленні досліджуваних характеристик у полярній системі координат та визначенні

площі багатокутника, утвореного відповідними параметрами якості. Інтегральна оцінка при цьому здійснюється шляхом порівняння отриманої факторної площі з нормативною або контрольною моделлю.

Перевагою методу факторних площ є можливість одночасно проводити інтегральний і диференціальний аналіз. З одного боку, площа багатокутника характеризує загальний рівень якості продукції, а з іншого – дозволяє визначити вплив кожного окремого показника на формування інтегральної оцінки. Це створює передумови для ефективного управління рецептурними та технологічними параметрами харчових систем.

Аналіз наукової літератури показав, що більшість сучасних досліджень присвячена визначенню амінокислотного складу білкових продуктів і розрахунку окремих індексів біологічної цінності. Водночас питання комплексного оцінювання біологічної цінності м'ясо-рослинних консервів других страв за допомогою багатфакторних математичних методів залишаються недостатньо дослідженими. Практично відсутні роботи, у яких оцінювання амінокислотного складу здійснюється на основі методу факторних площ із використанням інтегральних критеріїв якості.

Таким чином, аналіз літературних джерел свідчить про доцільність застосування методу факторних площ для комплексної оцінки біологічної цінності м'ясо-рослинних консервів для дружніх страв. Такий підхід дозволяє не лише оцінити відповідність амінокислотного складу нормативним вимогам, а й здійснити інтегральне порівняння різних рецептур та визначити найбільш перспективні напрями їх удосконалення.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. Як оціночні параметри досліджуваних зразків консервованої продукції других страв використали вміст незамінних амінокислот у складі їхньої білкової структури. Для формування вихідних даних для здійснення процесу моделювання якісного стану консервованої продукції других страв було встановлена відповідність складу незамінних амінокислот курячого білка фізіологічним потребам людини, які нормовані за даними якісними характеристиками (табл. 1), згідно з рекомендаціями роботи (Palamarchuk et al., 2024).

Таблиця 1. Ступінь відповідності складу незамінних амінокислот курячого білка фізіологічним потребам дорослої людини

Назва амінокислоти	Норми ФАО/ВООЗ, мг/г	Курячий білок	
		Фактичний вміст, мг/г	% задоволення потреби
Гістидін	15	6,64	44,3
Ізолейцин	30	11,3	37,7
Лейцин	59	16,1	27,3
Лізин	45	18,2	40,4
Метіонін + цистін	22	8,6	39,1
Метіонін	16	5,9	36,9
Цистін	6	2,7	45,0
Фенілаланін + тирозін	38	15,7	41,3
Тирозин	23	7,2	31,3
Триптофан	6	2,5	41,7
Валін	39	10,6	27,2

Джерело: розроблено автором на основі лабораторних досліджень.

Враховуючи рекомендовані величини з табл. 1 та дані експериментальних досліджень щодо вмісту у досліджуваній продукції незамінних амінокислот, розмістили усереднені якісні характеристики зразків рецептури у табл. 2.

Таблиця 2. Ступінь відповідності вмісту амінокислот, мг/г, критеріям якості ідеального білка в дослідних зразках

№ п/п	Назва амінокислоти	Норма ФАО/ВООЗ	Контроль	Зразок № 1	Зразок № 2	Зразок № 3
1	Валін	50	47	49	51	53
2	Ізолейцин	40	30	49	52	54
3	Лейцин	70	51	75	79	82
4	Лізин	55	72	69	73	78
5	Метіонін + цистин	35	39	41	42	44
6	Треонін	40	40	39	42	43
7	Триптофан	10	11	11	12	12
8	Фенілаланін + тирозин	60	70	83	80	81

Джерело: розроблено автором на основі лабораторних досліджень.

Методика визначення параметрів оцінки методом «факторних площ» у процесі математичного моделювання

Для проведення математичного моделювання якісного стану досліджуваних зразків консервованої продукції других страв використали метод «факторних площ» (Palamarchuk et al., 2025; Palamarchuk et al., 2026; Mushtruk et al., 2026). Під час моделювання висували такі гіпотези.

Згідно з першою гіпотезою, якісний стан досліджуваних зразків консервованої продукції других страв визначається факторним простором, що створюється обраними фахівцями комплексом якісних характеристик, які дозволяють адекватно оцінити якість досліджуваної продукції. При використанні методу «факторних площ» кількість використаних параметрів якості є необмеженою, що дозволяє отримати достовірну оцінку або прогноз.

За другою гіпотезою факторний простір можна наочно представити площею фігури багатокутника, із центра якого через рівні кути відкладаємо величини використаних якісних характеристик у безрозмірних одиницях. Тобто, під час побудови моделі якісного стану певного зразка використовується представлення якісних характеристик у полярній системі координат. Відкладання величин у безрозмірних одиницях дає можливість інтегрально, тобто узагальнено, оцінити якісний стан досліджуваної продукції. У той же час залишається можливість наочної локальної або диференціальної оцінки якісного стану продукції за окремими параметрами, що відображаються відповідними центральними променями на побудованій моделі якісного стану досліджуваних зразків.

Таким чином, на першому етапі моделювання здійснили переведення представлених якісних параметрів (табл. 2) у безрозмірні одиниці. Таку дію виконали за рахунок отримання співвідношень поточних величин обраних та експериментально визначених якісних характеристик певних зразків до їх нормативних величин (табл. 1). Очевидно, що величини будь-якого нормативного показника одну умовну одиницю, а поточні характеристики – часткові величини до цього показника (Palamarchuk et al., 2025; Palamarchuk et al., 2026; Mushtruk et al., 2026). Порівняння даних характеристик є диференціальним критерієм оцінювання. Таким чином, можна проводити математичне оцінювання якості через певні залежності між зазначеними характеристиками. Представлення якісних характеристик зразка № 1 досліджуваної консервованої продукції та їх нормативних параметрів наведено в таблиці 3.

Далі здійснювали побудову моделі якісного стану для певного зразка консервованої продукції других страв та їхніх нормативних параметрів. Розраховані якісні параметри відкладали від обраного єдиного центру через кут $\alpha = 360/m = 360/8 = 45^\circ$, де $m = 8$ – кількість використаних оціночних характеристик за вмістом незамінних амінокислот.

Очевидно, що кінці поточних якісних характеристик зразків рецептури R_i (табл.2) описують неправильний багатокутник, а кінці нормативних R_n – правильні: $R_n = 1$.

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_n , що описуються правильним багатокутником скористалися відомою формулою:

$$S_n = \frac{ma^2}{4tg\left(\frac{180}{m}\right)} \quad (1)$$

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

$$a = 2R_n \sin\left(\frac{180}{m}\right) \quad (2)$$

Тоді шукана величина площі правильного багатокутника становить:

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

Для досліджуваного факторного простору досліджуваної консервованої продукції, що представляється 8-кутником, за формулою (3) шукана площа становить $S_n = 2,828$ ум.од.

Величину площі неправильних багатокутників S_i знаходити як суму площ трикутників, з яких вона складається, використовуючи математичний алгоритм, виведений нижче (Palamarchuk et al., 2025; Palamarchuk et al., 2026). Враховуючи певні складнощі під час розрахунку за даним алгоритмом для всіх досліджуваних зразків рецептури консервованої продукції, використовували складену комп'ютерну програму, результати якої заносили в табл.6.

$$S_{08} = 0,5 \sin \alpha \cdot [R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_3 \cdot R_4 + R_4 \cdot R_5 + R_5 \cdot R_6 + R_6 \cdot R_7 + R_7 \cdot R_8 + R_8 \cdot R_1] \quad (4)$$

Порівняльну оцінку досліджуваних зразків консервованої продукції других страв та їх нормативних показників визначали за величинами алгебраїчних і геометричних співвідношень між безрозмірними характеристиками нормативних і поточних параметрів якості (Palamarchuk et al., 2025; Palamarchuk et al., 2026; Mushtruk et al., 2026), представленими нижче.

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

Для оцінювання частки (у %) простору поточних якісних параметрів у просторі нормативних показників використовували розроблений питомий коефіцієнт відповідності інтервалу якості $\varphi_{вія} = \frac{|S_n - S_i|}{S_n} \cdot 100\%$ (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 контрольному зразку $k_{вк} = S_i / S_k$, який показує наскільки близько відповідає якісний стан досліджуваного продукції контрольним показникам за певного факторного простору.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Для оцінювання біологічної цінності досліджуваних м'ясо-рослинних консервів других страв проведено аналіз їх амінокислотного складу з подальшим математичним моделюванням якісного стану за методом факторних площ. Як оціночні параметри використано вміст незамінних амінокислот, які визначають повноцінність білкової складової продукту та ступінь її відповідності фізіологічним потребам людини. Порівняльне оцінювання здійснювали відносно рекомендованих норм FAO/ВООЗ і контрольного зразка. Отримані результати дозволили встановити закономірності зміни інтегральних показників якості дослідних зразків, визначити рівень їхньої відповідності еталонним характеристикам та обґрунтувати найбільш перспективну рецептуру за показниками біологічної цінності.

Побудова математичних моделей якісного стану досліджуваних зразків консервів

Відповідно до результатів експериментальних даних для зразка № 1 консервованої продукції (табл. 1 та 2) було проведено розрахунок основних оціночних характеристик у безрозмірних одиницях для побудови геометричної математичної моделі (табл. 3).

Таблиця 3. Розрахунок оціночних характеристик зразку № 1 консервів других страв за вмістом незамінних амінокислот

№ п/п	Назва амінокислоти	Норма R_n , ум.од.	Контроль R_k , ум.од.	Зразок № 1 R_i , ум.од.
1	Валін	1,0	0,94	0,98
2	Ізолейцин	1,0	0,75	1,23
3	Лейцин	1,0	0,73	1,07
4	Лізін	1,0	1,31	1,26
5	Метіонин + цистин	1,0	1,11	1,17
6	Треонін	1,0	1,0	0,98
7	Триптофан	1,0	1,1	1,1
8	Фенілаланін + тирозин	1,0	1,17	1,38

Використовуючи розрахункові значення поточних параметрів R_i (табл. 3) та нормативних R_n , побудували геометричну модель якісного стану досліджуваного зразка № 1 консервованої продукції порівняно із нормативним (рис. 1) за вмістом незамінних амінокислот.

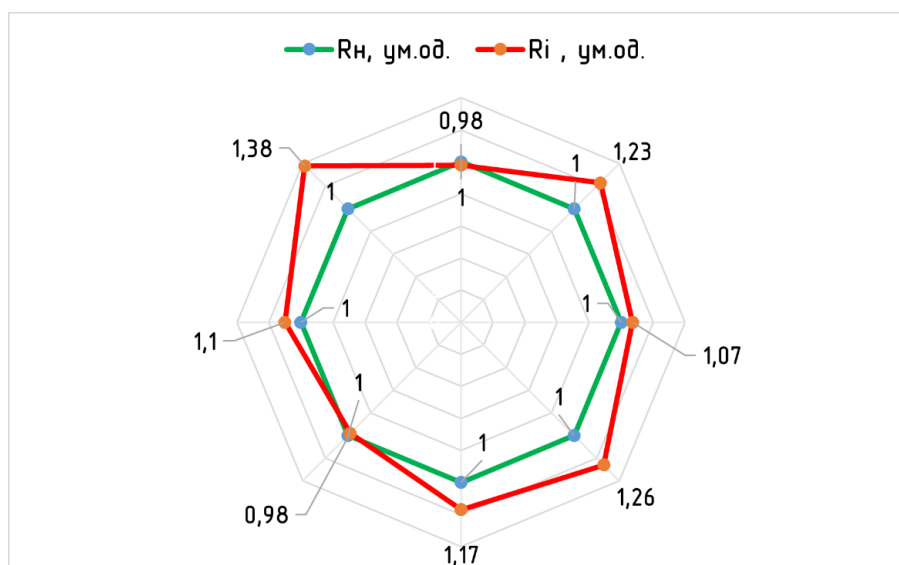


Рисунок 1. Математична модель якісного стану досліджуваного зразка № 1 консервів других страв порівняно із нормативним за вмістом незамінних амінокислот.

Аналіз геометричних моделей на рис.1 свідчить, що зразок № 1 перевищує нормативні значення за вмістом незамінних амінокислот практично за всіма оцінювальними параметрами, окрім валіна та треоніна. У цілому за всіма оціночними параметрами має місце перевищення нормативу в 1,16 раза (табл.4). Максимальні величини перевищення нормативних параметрів спостерігаються для лізину, ізолейцину та сукупності фенілаланіну й тирозину відповідно на 26, 38 та 23%. Враховуючи, що ці параметри є позитивними, такі зміни свідчать про потенціал підвищення якості досліджуваного зразка на 16,1 %.

Використовуючи розрахункові значення параметрів R_k для контрольного зразка (табл. 3) та нормативні R_n , аналогічно побудували геометричну модель якісного стану контрольного зразка консервів порівняно з нормативним (рис.2) за вмістом незамінних амінокислот.

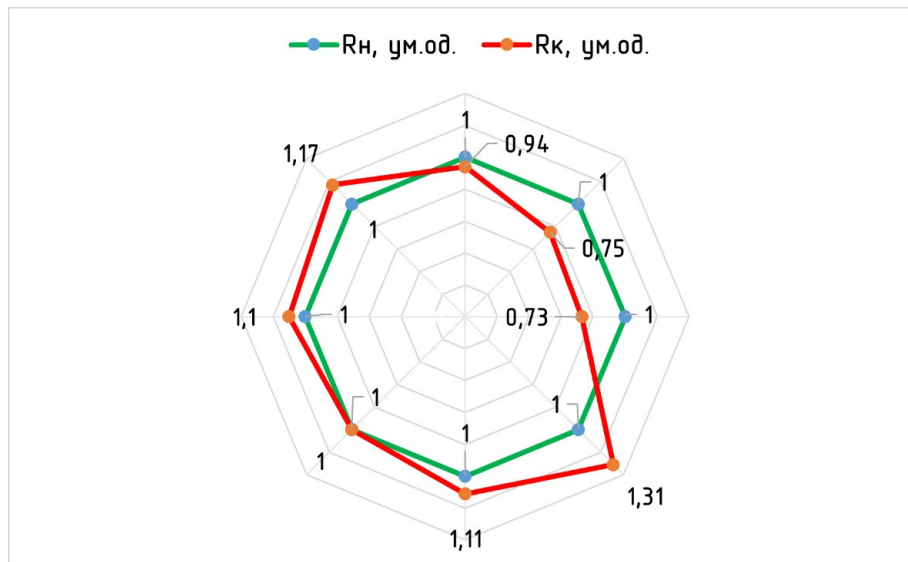


Рисунок 2. Математична модель якісного стану контрольного зразка консервів других страв порівняно із нормативним за вмістом незамінних амінокислот

Відповідно до результатів експериментальних даних для зразка № 2 консервованої продукції (табл.1 та 2) було проведено розрахунок основних оціночних характеристик у безрозмірних одиницях для побудови геометричної математичної моделі (табл. 4)

Таблиця 4. Розрахунок оціночних характеристик зразку № 2 консервів других страв за вмістом незамінних амінокислот

№ п/п	Назва амінокислоти	Норма R_n , ум.од.	Контроль R_k , ум.од.	Зразок № 2 R_i , ум.од.
1	Валін	1,0	0,94	1,02
2	Ізолейцин	1,0	0,75	1,3
3	Лейцин	1,0	0,73	1,13
4	Лізін	1,0	1,31	1,33
5	Метіонін + цистін	1,0	1,11	1,2
6	Треонін	1,0	1,0	1,05
7	Триптофан	1,0	1,1	1,2
8	Фенілаланін + тирозін	1,0	1,17	1,33

Використовуючи розрахункові значення поточних параметрів R_i (табл.4) та нормативних R_n , побудували геометричну модель якісного стану досліджуваного зразка №2 консервів порівняно із нормативним (рис.3) за вмістом незамінних амінокислот.

Аналіз геометричних моделей на рис. 2 свідчить, що контрольний зразок консервованої продукції не перевищує нормативні значення за трьома параметрами, а саме: вмістом валіну, ізолейцину та лейцину. У цілому за всіма оціночними параметрами має місце зменшення нормативу на 89 % (табл. 4). Максимальні величини перевищення нормативних параметрів спостерігаються для лізину та сукупностей метіону й цистеїну, фенілаланіну й тирозину відповідно на 31, 11 та 17%. Враховуючи, що ці параметри є позитивними, такі зміни свідчать

Аналіз геометричних моделей на рис.3 свідчить, що зразок №2 консервованої продукції других страв перевищує нормативні значення за всіма оцінювальними параметрами. У цілому за всіма оціночними параметрами має місце перевищення нормативу в 1,26 раза (табл.4). Максимальні величини перевищення нормативних параметрів спостерігаються для ізолейцину, лізину та сукупностей метіону й цистеїну, фенілаланіну й тирозину – відповідно на 30, 34 та 33 %. Враховуючи, що ці параметри є позитивними, такі зміни свідчать про потенціал підвищення якості досліджуваного зразка на 26,3 %.

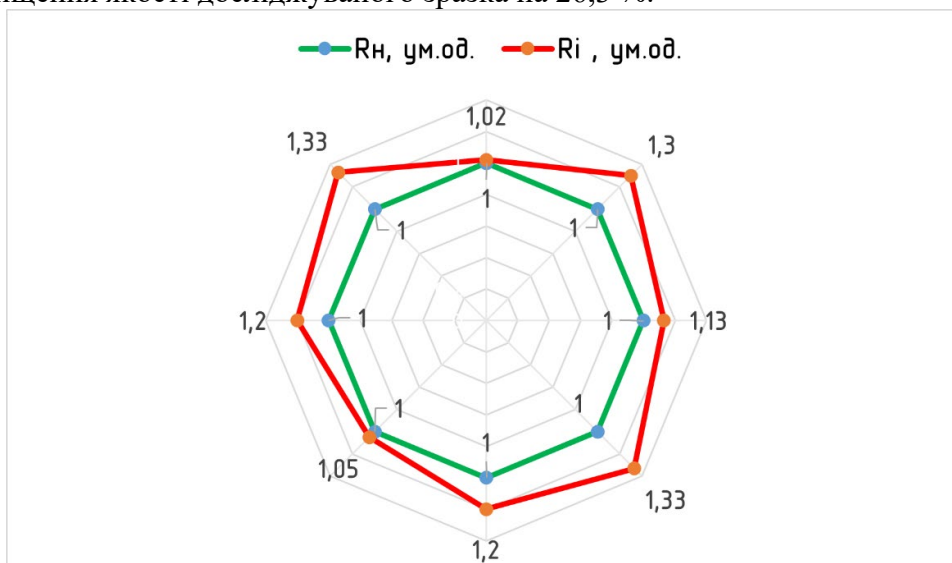


Рисунок 3. Математична модель якісного стану досліджуваного зразка № 2 консервів других страв порівняно із нормативним за вмістом незамінних амінокислот

Відповідно до результатів експериментальних даних для зразка № 3 м'ясо-рослинних консервів (табл. 1 та 2) проведено розрахунок основних оціночних характеристик у безрозмірних одиницях для побудови геометричної математичної моделі (табл. 5).

Таблиця 5. Розрахунок оціночних характеристик зразку №3 консервів других страв за вмістом незамінних амінокислот

№ п/п	Назва амінокислоти	Норма F_n , ум.од.	Контроль F_k , ум.од.	Зразок № 3 R_i , ум.од.
1	Валін	1,0	0,94	1,06
2	Ізолейцин	1,0	0,75	1,35
3	Лейцин	1,0	0,73	1,17
4	Лізін	1,0	1,31	1,42
5	Метіонин + цистін	1,0	1,11	1,26
6	Треонін	1,0	1,0	1,08
7	Триптофан	1,0	1,1	1,2
8	Фенілаланін + тирозін	1,0	1,17	1,35

Використовуючи розрахункові значення поточних параметрів R_i (табл. 5) та нормативних R_n , побудували геометричну модель якісного стану досліджуваного зразка № 3 консервованої продукції порівняно із нормативним (рис. 4) за вмістом незамінних амінокислот.

Аналіз геометричних моделей на рис. 4 свідчить, що зразок № 3 консервованої продукції для других страв перевищує нормативні значення за всіма оцінювальними параметрами. У цілому за всіма оціночними параметрами має місце перевищення нормативу в 1,35 раза (табл. 5). Максимальні величини перевищення нормативних параметрів спостерігаються для лізину, ізолейцину та сукупностей метіону й цистеїну, фенілаланіну й тирозину – відповідно на 42, 35, 26 та 35 %. Враховуючи, що ці параметри є позитивними, такі зміни свідчать про потенціал підвищення якості досліджуваного зразка на 35,1 %.

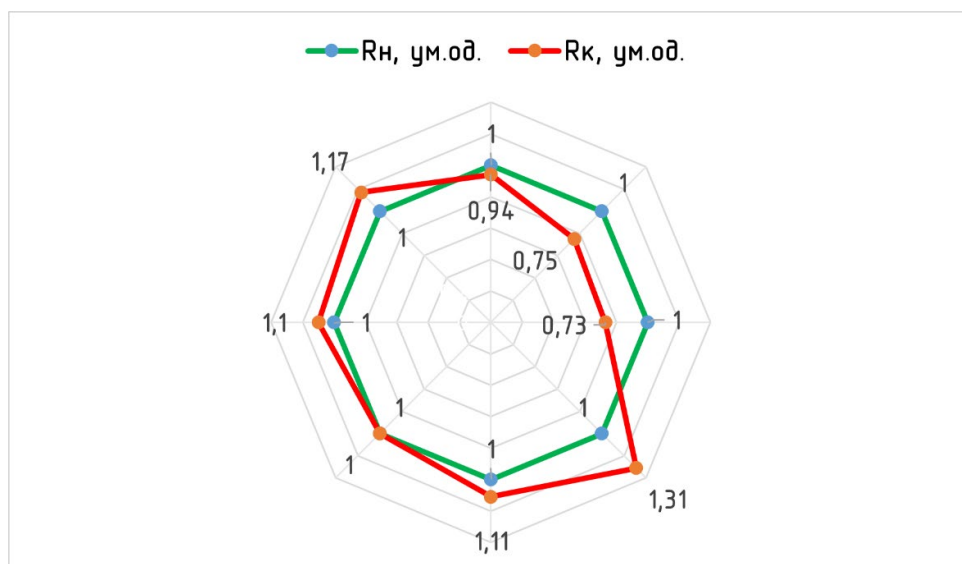


Рисунок 4. Математична модель якісного стану досліджуваного зразка № 3 консервів других страв порівняно із нормативним за вмістом незамінних амінокислот

Динаміка зміни якісних характеристик досліджуваних зразків консервів других страв

Використовуючи результати математичного моделювання методом факторних просторів, отримані критерії оцінки якості досліджуваних зразків м'ясо-рослинних консервів для других страв розмістили в таблиці 6.

Таблиця 6. Критерії оцінки якості досліджуваних зразків консервів других страв

№ п/п	Зразки продукції	Факторна площа			Критерії оцінки		
		S_n , ум. од ²	S_k , ум. од ²	S_i , ум. од ²	$k_{вія}$	$k_{вк}$	$\varphi_{вія}$, %
1	Зразок №1	2,828	2,54	3,3	1,16	1,3	16,15
2	Зразок №2	2,828	2,54	3,59	1,26	1,41	26,33
3	Зразок №3	2,828	2,54	3,84	1,35	1,51	35,1
4	Контрольний зразок	2,828	2,54	2,54	0,89	1,0	10,6

На основі даних таблиці 6 здійснили порівняльний графоаналітичний аналіз зміни критеріїв оцінки якості досліджуваних зразків консервованої продукції, що розміщені на рисунку 5.

За всіма обраними оціночними параметрами досліджувані зразки консервованої продукції других страв, окрім контрольного, перевищують нормативні параметри відповідно на 16, 26 та 35 % згідно із величинами коефіцієнтів відповідності нормативам якості $k_{вія}$. За величиною

коефіцієнта відповідності контрольному зразку квк усі зразки розробленої рецептури його перевищують відповідно на 30, 41 та 51 % (рис. 5).

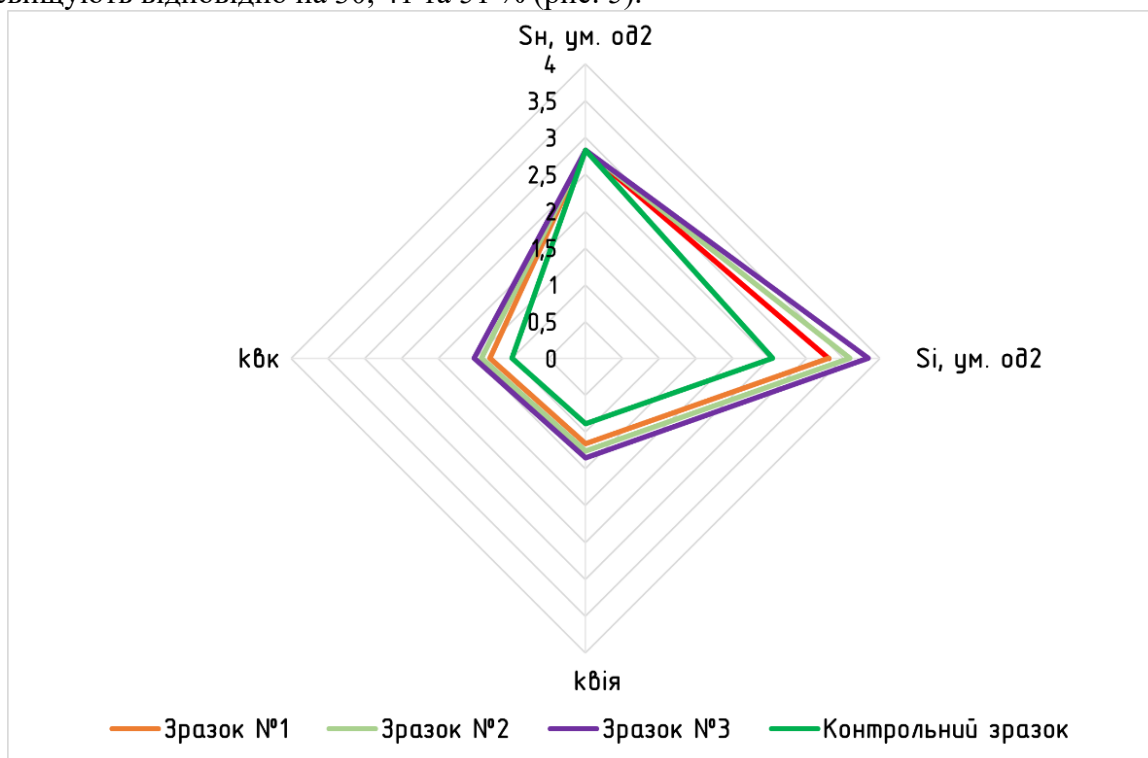


Рисунок 5. Аналіз зміни критеріїв оцінки якості досліджуваних зразків консервованої продукції других страв

Отримані результати свідчать про доцільність використання методу факторних площ для інтегральної оцінки біологічної цінності м'ясо-рослинних консервів для других страв за вмістом незамінних амінокислот. Встановлено, що всі дослідні зразки характеризувалися вищими показниками якості порівняно з контрольним, а найкращі результати продемонстрував зразок № 3, для якого коефіцієнт відповідності нормативним вимогам становив 1,35, а перевищення інтегрального показника якості відносно нормативного рівня досягало 35,1 %.

Результати дослідження узгоджуються з висновками Ishii & Bhatia (2023), які встановили, що збалансованість незамінних амінокислот є визначальним чинником формування біологічної цінності харчових продуктів. Автори довели, що підвищення вмісту лізину, ізолейцину та інших незамінних амінокислот позитивно впливає на ефективність використання білка організмом людини. Аналогічна тенденція спостерігалася і в цьому дослідженні, де найбільший внесок у зростання інтегральних показників якості забезпечували саме лізин і ізолейцин.

Подібні результати наведено у роботі Matthews et al. (2025), присвяченій оцінці комбінованих білкових систем. Автори встановили, що поєднання білків різного походження дає змогу усунути дефіцит лімітуючих амінокислот і підвищити загальну біологічну цінність продукту. У проведеному дослідженні також встановлено, що м'ясо-рослинні рецептури характеризуються вищою відповідністю еталонному білку порівняно з контрольним зразком, що підтверджує ефективність використання комбінованої сировини.

Важливе значення має робота Kowalska et al. (2023), у якій досліджено вплив рослинних компонентів на харчову цінність м'ясних продуктів. Автори відзначають покращення амінокислотного складу та підвищення функціональної цінності продукції за використання рослинної сировини. Отримані результати узгоджуються з нашими даними, оскільки всі

дослідні зразки характеризувалися перевищенням нормативних значень за більшістю незамінних амінокислот.

Схожі висновки зробили Martínez et al. (2024), які досліджували комбіновані харчові системи з функціональним призначенням. Науковці встановили, що використання рослинних інгредієнтів дає змогу компенсувати дефіцит окремих амінокислот і підвищити збалансованість білкового комплексу. У даному дослідженні аналогічний ефект спостерігався для ізолейцину, лізину та сукупності фенілаланіну й тирозину, вміст яких у дослідних зразках перевищував еталонні значення.

Результати оцінювання амінокислотного складу узгоджуються також із даними Kasprzyk (2025) та Elango et al. (2009), які досліджували біологічну цінність м'ясної сировини за вмістом незамінних амінокислот. Автором встановлено, що перевищення еталонних значень окремих амінокислот позитивно впливає на інтегральні показники якості білка. Подібна закономірність виявлена і в проведеному дослідженні, де збільшення концентрації лізину та ізолейцину супроводжувалося зростанням коефіцієнтів відповідності нормативним показникам.

У роботах Karabulut et al. (2024) показано, що покращення амінокислотного профілю м'ясної сировини підвищує її біологічну цінність. Хоча автор досліджував інший об'єкт, встановлена ним залежність між вмістом незамінних амінокислот і якістю білка підтверджується результатами цієї роботи. Водночас на відміну від дослідження Karabulut et al. (2024), у представленій роботі оцінювання здійснювалося не за окремими показниками, а на основі інтегрального математичного підходу.

Особливий інтерес становить порівняння отриманих результатів із висновками Moughan and Lim (2024), які зазначають, що традиційні методи оцінювання білкової якості не завжди дають змогу комплексно характеризувати багатокomпонентні харчові системи. Саме ця проблема стала підґрунтям для застосування методу факторних площ у цьому дослідженні. На відміну від традиційних підходів, застосований метод дозволив інтегрувати в єдину модель усі досліджувані амінокислоти та отримати узагальнений показник якості продукції.

Подібної точки зору дотримується Hoffer (2016), який підкреслює необхідність розвитку багатфакторних методів оцінювання харчової цінності продуктів. Автор зазначає, що сучасні харчові системи характеризуються значною кількістю взаємопов'язаних показників, тому використання інтегральних критеріїв є більш інформативним порівняно з аналізом окремих характеристик. Отримані результати підтверджують доцільність такого підходу, оскільки метод факторних площ дозволив об'єктивно ранжувати дослідні зразки за рівнем біологічної цінності.

Таким чином, результати проведеного дослідження загалом узгоджуються з висновками сучасних наукових праць щодо позитивного впливу поєднання м'ясної та рослинної сировини на амінокислотний склад продуктів. Водночас на відміну від більшості попередніх досліджень, у роботі запропоновано комплексний підхід до оцінювання біологічної цінності на основі методу факторних площ, який дозволяє одночасно враховувати весь комплекс незамінних амінокислот та отримувати інтегральну характеристику якісного стану продукції. Найвищі показники якості встановлено для зразка № 3, що свідчить про перспективність його рецептурного складу та доцільність подальших досліджень у напрямі вдосконалення м'ясо-рослинних консервів функціонального призначення.

ВИСНОВКИ. Проведено оцінювання біологічної цінності м'ясо-рослинних консервів других страв за вмістом незамінних амінокислот із використанням методу факторних площ. Встановлено, що застосований підхід дозволяє здійснювати комплексну інтегральну оцінку якісного стану продукції, враховуючи одночасно весь комплекс досліджуваних амінокислотних показників та ступінь їх відповідності рекомендованим нормам ФАО/ВООЗ.

За результатами математичного моделювання встановлено перевагу всіх розроблених рецептур над контрольним зразком. Дослідні зразки характеризувалися вищими значеннями коефіцієнта відповідності інтервалу якості, які становили відповідно 1,16; 1,26 та 1,35 для

зразків № 1, № 2 та № 3. Це свідчить про перевищення нормативного рівня якості на 16,15 %, 26,33 % та 35,10 % відповідно.

Найкращі показники біологічної цінності встановлено для зразка №3. Для нього коефіцієнт відповідності заданому інтервалу якості становив $k_{в\text{ія}} = 1,35$, а факторна площа досягала 3,84 ум. од.², що перевищувало аналогічний показник контрольного зразка у 1,51 рази. Питомий коефіцієнт відповідності нормативам якості $\phi_{в\text{ія}}$ становив 35,1 %, що є максимальним значенням серед усіх досліджуваних варіантів рецептури та свідчить про найбільший запас позитивних якісних характеристик.

Встановлено, що найбільший вплив на формування високої біологічної цінності дослідних зразків справляли лізин, ізолейцин, а також сукупність фенілаланіну та тирозину, вміст яких перевищував нормативні значення та забезпечував підвищення інтегральних показників якості продукції.

Найнижчі показники якості виявлено в контрольному зразку, для якого коефіцієнт відповідності інтервалу якості становив 0,89. Це свідчить про неповну відповідність нормативним вимогам за сукупністю досліджуваних амінокислотних показників та відсутність резерву для підвищення якості стану в межах досліджуваного факторного простору. Серед розроблених рецептур найменші інтегральні показники мав зразок №1, однак він перевищував нормативні характеристики за більшістю досліджуваних параметрів і характеризувався потенціалом підвищення якості на 16,15 %.

Практична цінність проведеного дослідження полягає в обґрунтуванні можливості використання методу факторних площ для комплексного оцінювання біологічної цінності харчових продуктів і вибору найбільш раціональних рецептурних рішень. Перспективою подальших досліджень є розширення переліку оціночних показників за рахунок фізико-хімічних, функціонально-технологічних та органолептичних характеристик з метою створення багатофакторної системи оцінювання якості м'ясо-рослинних консервів.

Подяки. Немає.

Конфлікт інтересів. Немає.

References

- Bal-Prylypko, L., Nikolayenko, M., Danylenko, S., Ustymenko, I., Ryabovol, M., & Petrychenko, K. (2024a). Justification for improving the technology of canning main dish with increased nutritional value. *Food resources*, 12(22), 28–36. <https://doi.org/10.31073/foodresources2024-22-03>
- Bal-Prylypko, L., Nikolayenko, M., Ustymenko, I., HOLEMBOVSKA, N., & Petrychenko, K. (2024b). Amino acid composition of canned main dish increased food value. *Human and nation's Health*, 3, 75-83. <https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2024.75>
- 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.
- Elango, R., Ball, R. O., & Pencharz, P. B. (2009). Amino acid requirements in humans: with a special emphasis on the metabolic availability of amino acids. *Amino acids*, 37(1), 19-27.
- 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>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2013). *Dietary protein quality evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation* (FAO Food and Nutrition Paper No. 92). FAO.
- Gaudichon, C. (2024). Evolution and significance of amino acid scores for protein quality. *Frontiers in Nutrition*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1437853>
- 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>

- Ishii, I., & Bhatia, M. (2023). Amino Acids in Health and Disease: The Good, the Bad, and the Ugly. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(5), 4931. <https://doi.org/10.3390/ijms24054931>
- Karabulut, G., Purkiewicz, A., & Goksen, G. (2024). Recent developments and challenges in algal protein and peptide extraction strategies, functional and technological properties, bioaccessibility, and commercial applications. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 23(3), e13372.
- Kasprzyk, A. (2025). Comparison of the amino acid composition and biological value of protein in fallow deer meat from two farming systems. *NFS Journal*, 39, 100231. <https://doi.org/10.1016/j.nfs.2025.100231>
- 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>
- Ling, Z.-N., Jiang, Y.-F., Ru, J.-N., Lu, J.-H., Ding, B., & Wu, J. (2023). Amino acid metabolism in health and disease. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41392-023-01569-3>
- Martínez, M., Penci, M., Ribotta, P., & León, A. (2024). Plant-based ingredients as functional components in meat products: Nutritional and technological aspects. *Food Research International*, 184, 114215. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2024.114215>
- Matthews, J., Wolfe, R. R., Moughan, P. J., & Tome, D. (2025). Protein quality and indispensable amino acids in mixed protein systems for human nutrition. *Advances in Nutrition*, 16(1), 100238. <https://doi.org/10.1016/j.advnut.2024.100238>
- Moughan, P. J., & Lim, W. X. J. (2024). Digestible indispensable amino acid score (DIAAS): 10 years on. *Frontiers in Nutrition*, 11. <https://doi.org/10.3389/fnut.2024.1389719>
- Mushtruk, M., Vasylyv, V., Hidzhelitskyi, V., Mukoid, R., Savchuk, S., Popova, I., Khalin, S., & Mykhniuk, S. (2026). Evaluation of the quality indicators 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>
- Palamarchuk, I., Adamchuk, L., Palamarchuk, V., Andruschenko, M., Priss, O., Glowacki, S., Hutsol, T., & Bezalychna, 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* (pp. 705–718). Springer Nature Switzerland. 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>
- Skwarek, P., & Karwowska, M. (2023). Fruit and vegetable processing by-products as functional meat product ingredients: a chance to improve the nutritional value. *Lwt*, 189, 115442.
- Stanišić, N., Kurćubić, V. S., Stajić, S. B., Tomasevic, I. D., & Tomasevic, I. (2025). Integration of Dietary Fiber for Health Benefits, Improved Structure, and Nutritional Value of Meat Products and Plant-Based Meat Alternatives. *Foods*, 14(12), 2090. <https://doi.org/10.3390/foods14122090>