УДК 664.3.032.9
https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2025.34

МАТЕМАТИЧНИЙ АНАЛІЗ КИТАЙСЬКИХ ПИВНИХ КОВБАС ЗА ВМІСТОМ ШКІДЛИВИХ РЕЧОВИН

Ігор Павлович Паламарчук
доктор технічних наук, професор
Національний університет біоресурсів і природокористування
03041, Героїв Оборони 15, м. Київ, Україна
https://orcid.org/0000-0002-0441-6586
Yuanxia Fu
здобувачка ступеня доктора філософії
Національний університет біоресурсів і природокористування
03041, Героїв Оборони 15, м. Київ, Україна
https://orcid.org/0000-0002-4238-1847
Максим Миколайович Гудзенко
кандидат технічних наук, доцент
Національний університет біоресурсів і природокористування
03041, Героїв Оборони 15, м. Київ, Україна
https://orcid.org/0000-0001-7959-3627
Павло Павлович Паламарчук
студент
Національний університет біоресурсів і природокористування
03041, Героїв Оборони 15, м. Київ, Україна

Анотація. *Об'єктом досліджень у даній науковій роботі стали 2 різновиди китайських пивних ковбас. Використовуючи результати експериментальних досліджень із визначення основних фізико-механічних та хіміко-біологічних характеристик даної продукції, у якості оціночних параметрів використовували вміст натрієвої солі, жиру, холестерину, нітритів, сірки та хлору. Особливості даних речовин та достатньо великий обсяг розрахунків, поставили завдання розробки необхідного математичного алгоритму для комплексної оцінки якості китайських ковбас за вмістом шкідливих речовин. Тому метою цієї наукової праці було розроблення методу математичного моделювання та проведення ефективної оцінки якісних характеристик китайських пивних ковбас за вмістом шкідливих речовин. Розробка математичних моделей досліджуваних зразків ковбасної продукції грунтувалась на гіпотезі, що обрані оціночні параметри продукції, представлені у безрозмірних одиницях, створюють відповідні факторні простори, які можна обчислити за площами геометричних фігур. Останні візуалізуються за результатами математичного аналізу та являють собою геометричні моделі якості відповідного зразка продукції. Використані безрозмірні критерії оцінки отримали при їх співвідношенні з нормативними величинами оціночних параметрів для даної продукції. Практична цінність розробленого методу моделювання зумовлюється простотою складання геометричної моделі, наочністю відображення інформації, можливістю використання будь-якої кількості параметрів оцінки та відповідно досягнення максимально можливої або необхідної точності математичної експертизи. У якості критеріїв оцінки досліджуваних типів китайських ковбас були обрані факторні площі нормативних та поточних параметрів якості, коефіцієнт відповідності заданому інтервалу якості та коефіцієнт відповідності граничним*

нормативним величинам, які реалізовують загально регламентовані критерії якості для даної продукції. За результатами моделювання виявилось, що за використаними критеріями оцінки досліджувані зразки пивних ковбас показують позитивну зміну динаміки використаних критеріїв оцінки, а порівняно із китайськими ковбасами свинячою звичайною, овочевою та кантонською відзначаються кращими якісними характеристиками при використанні комплексної оцінки за вмістом шкідливих речовин.

***Ключові слова**: моделі якісного стану ковбас; натрієва сіль; жири; холестерин; нітрити*

UDC 664.3.032.9
https://doi.org/10.31548/humanhealth.3.2025.34

MATHEMATICAL ANALYSIS OF CHINESE SAUSAGES FOR THE CONTENT OF HARMFUL SUBSTANCES

Igor Palamarchuk
Doctor of Technical Sciences, Professor
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
03041, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine
https://orcid.org/0000-0002-0441-6586
Yuanxia Fu
postgraduate student,
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
03041, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine
https://orcid.org/0000-0002-4238-1847
Maksym Hudzenko
PhD in Technical Sciences, Associate Professor
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
03041, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine
https://orcid.org/0000-0001-7959-3627
Pavlo Palamarchuk
Student
National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine
03041, 15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine

***Abstract.** The object of research in this scientific work was 2 varieties of Chinese beer sausages. Using the results of experimental studies to determine the main physicomechanical and chemical-biological characteristics of this product, the content of sodium salt, fat, cholesterol, nitrites, sulfur and chlorine was used as evaluation parameters. The features of these substances and a sufficiently large volume of calculations set the task of developing the necessary mathematical algorithm for a comprehensive assessment of the quality of Chinese sausages by the content of harmful substances. Therefore, the purpose of this scientific work was to develop a method of mathematical modeling and conduct an effective assessment of the quality characteristics of Chinese beer sausages by the content of harmful substances. The development of mathematical models of the studied samples of sausage products was based on the hypothesis that the selected evaluation parameters of the product, presented in dimensionless units, create the corresponding factor spaces, which can be calculated by the areas of geometric figures. The latter are visualized by the results of mathematical analysis and represent geometric models of the quality of the corresponding product sample. The dimensionless evaluation criteria used were obtained by their correlation with the normative values of the evaluation parameters for this product. The practical value of the developed modeling method is due to the simplicity of compiling a geometric model, the clarity of information display, the possibility of using any number of evaluation parameters and, accordingly, achieving the maximum possible or*

necessary accuracy of mathematical examination. As the evaluation criteria for the studied types of Chinese sausages, the factor areas of the normative and current quality parameters, the coefficient of compliance with the given quality interval and the coefficient of compliance with the limit normative values, which implement the generally regulated quality criteria for this product, were selected. According to the modeling results, it was found that according to the used evaluation criteria, the studied samples of beer sausages show a positive change in the dynamics of the used evaluation criteria, and compared to Chinese pork sausages, ordinary, vegetable and Cantonese sausages are characterized by better quality characteristics when using a comprehensive assessment of the content of harmful substances.

Keywords: *quality models; samples of sausage products; quality and regulatory parameters; content of sodium salt, fat, cholesterol, nitrites, sulfur and chlorine*

ВСТУП. Загострення продовольчої кризи останніми роками в умовах військових дій та пандемії, зниження доступності багатьох важливих продуктів та необхідних мікроелементів, підвищення вмісту шкідливих речовин в асортименті харчових продуктів, що негативно позначається на раціонів харчування мільйонів людей та вимагає ефективної та адекватної оцінки якості харчових продуктів (Priss et al., 2023, 2024).

Китайські пивні ковбаси характеризуються унікальним смаком завдяки додаванню пива як приправи або солинової рідини, що поєднується зі смаком свинини, утворюючи специфічний насичений аромат та приємний післясмак (Guo et al., 2023; Li et al., 2023; Wu et al., 2021). Окрім того, м'ясо такої ковбаси є твердим і пружним, багатим поживними речовинами: сама по собі свинина характеризується достатньо високим вмістом білку, жиру і різних мінералів, а дріжджі та солод у пиві також містять певні поживні речовини, що підвищує біологічну цінність пивної свинячої ковбаси.

Також дана продукція характеризується високими технологічними якостями: окрім безпосереднього вживання у їжу, її зручно та доцільно використовувати як харчовий інгредієнт у процесах смаження, тушкування та інших. Варена пивна свиняча ковбаса є більш смачню та має більш насичений смак (Weigel et al., 2023; Zhang et al., 2021; Luyao G., 2024). Свіжу пивну ковбасу зазвичай не коптять, а розміщують у холодильнику для дозрівання на 2-3 дні (Wang et al., 2021; Ma Bolun et al., 2020; Jie G., 2023), далі бланшують або обсмажують та розігрівають перед вживанням. Висушена на повітрі пивна ковбаска володіє більш сильним смаком, набуває хрусткості всередині та зовні після гриля, еластичності та є надзвичайно свіжою на смак (Mikami N. et al., 2020; Yuhe W.et al., 2021; Post et al., 2020).

При застосуванні у рецептурі пивної китайської ковбаси поєднання свинини та яловичини, продукт виходить коротким і товстим за формою, набуває темно-червоного кольору та має сильний часниковий смак (Li Qingguang et al., 2021; Xiao Sili et al., 2023; Jie G., 2023). Такий смак є солоним, жорстким і легко жувальним; що позитивно відзначається у поєднанні з пивом.

Представлені біологічні та фізико-хімічні властивості китайської пивної виявляють високі її технологічні якості, що вимагає перевірку даного продукту на вміст шкідливих речовин. Тому *метою даної наукової роботи* є визначення найбільш прийнятного рецепту пивної ковбаси серед досліджуваних китайських ковбас залежно від вмісту шкідливих компонентів шляхом застосування необхідної бази експериментальних досліджень та математичного моделювання методом факторних площ.

Для виконання поставленої мети були поставлені наступні завдання:

- вибір критеріїв оцінки для адекватної оцінки стану досліджуваних зразків китайських ковбас, зокрема, двох рецептів пивних, використовуючи експериментальну базу даних;
- представлення оціночних характеристик у вигляді безрозмірних комплексів;
- побудова площинних геометричних моделей якості;
- здійснення порівняльної оцінки досліджуваних зразків китайських ковбас.

ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ. Серед найбільш небезпечних речовин, які спостерігаються у китайських ковбасах, можна відзначити вміст натрієвої солі, жиру, холестерину, нітритів, сірки та хлору.

Згідно з рекомендаціями здорового харчування, добове споживання натрію, що міститься відповідно у натрієвій солі для дорослих повинно бути нижче 2300 *мг*, що складає приблизно 5,75 *г* кухонної солі (Domínguez et al., 2021; FAO/WHO Codex Alimentarius Commission, 2020). Тривале споживання занадто великої кількості натрію може призвести до підвищення ризику високого кров'яного тиску та серцево-судинних захворювань.

У сосисках міститься достатньо багато жиру, що може мати високий вміст холестерину. На теперешній час не існує встановлених стандартів щодо конкретних добових обмежень жиру та холестерину, оскільки вони залежать від загальної дієти та здоров'я людини. Однак зазвичай рекомендується зменшити споживання насичених жирів і трансжирів, а також контролювати споживання холестерину. Для середньостатистичної дорослої людини добове споживання жиру має становити 20-35% загальної енергії, з яких насичені жири мають становити менше 10% загального жиру (Ge, L. et al., 2024; Zhao, X., 2022).

Стосовно шкідливих компонентів можна відзначити такі хімічні речовини, як нітрити та фосфати, що можуть додаватися до ковбас як консерванти та підсилювачі кольору. Нітрити можуть окислювати гемоглобін з низьким вмістом заліза, який зазвичай переносить кисень у крові, до метагемоглобіну, який тоді втрачає здатність переносити кисень та викликає гіпоксію тканин. Зважаючи на токсичність нітритів їх вміст у ковбасних виробах, як правило, суворо регламентується та контролюється. Вживання дорослими ковбас з вмістом нітритів 0,2 - 0,5 *г* може викликати отруєння, а концентрація у 3 *г* може спричинити смерть (Mikami N. et al., 2020), але вміст нітритів у ковбасних виробах зазвичай значно нижчий за цей рівень. Однак має місце негативний накопичувальний ефект такого елементу, що може істотно збільшити ризик розвитку раку травної системи. Позитивна кореляція між раком стравоходу та кількістю нітритів, що споживаються пацієнтами, полягає у тому, що у середовищі шлункової кислоти нітрит реагує з вторинними, третинними амінами та амідами в їжі, утворюючи сильні канцерогени, такі як нітрамін. Нітроаміни також можуть потрапляти в плід через плаценту та виявляють тератогенну дію на нього.

Згідно з національним обов'язковим стандартом «Національні стандарти безпечності харчових продуктів для використання харчових добавок», у таких продуктах, як в'ялений бекон, дозволяється залишати лише слідові кількості нітритів з обмеженням 30 *мг/кг*, а максимальний рівень залишків у копченої шинки не повинен перевищувати 70 *мг/кг* (Li Qingguang et al., 2021).

Небезпеку бактеріального забруднення у ковбасах створюють такі хвороботворні бактерії, як Salmonella та Staphylococcus aureus (GB 29921-2021, 2021; Xin N. et al., 2023). Ризик даного бактеріального зараження пов'язаний зі способом обробки, зберігання та споживання ковбаси. Вживання заражених ковбас може призвести до харчового отруєння, але конкретний «граничний діапазон» важко визначити кількісно, оскільки імунітет і стійкість до бактерій у кожного різні.

Наявність білку у ковбасах може бути алергеном для деяких людей. Граничний діапазон толерантності білкових сполук у людському організмі достаньо широко варіюється та залежить від індивідуальної алергії та чутливості. Людям з відомою алергією на певні харчові інгредієнти слід уникати ковбас, що містять ці інгредієнти.

Серед методів оцінки якісного стану ковбасної продукції передують експертна оцінка за органолептичними характеристиками, визначення вмісту шкідливих компонентів при допомозі спектроскопічного (Wang Li et al., 2024; Wang, L. et al., 2020; Jie G., 2023) та гіперспектрального детектування (Guo, B. et al., 2021; Wu Ya et al., 2024). Останні методи вимагають наявності спеціальних лабораторних умов та високовартісного обладнання. Для оцінки якості харчової продукції, як правило, використовують метод органолептичних діаграм, що відзначається

суб'єктивним характером прийняття рішення, обмеженою кількістю використаних параметрів оцінки, відсутністю нормативної межі або рекомендації, що регламентується або обґрунтована достатньо великим обсягом досліджень. У зв'язку із цим набуває *актуальності* завдання ефективної оцінки якісних характеристик ковбасної продукції та формування перспективних напрямів розвитку рецептури для реалізації технологій виробництва ковбас та сосисок.

МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ. При реалізації досліджуваної технології виробництва пивних китайських ковбас використовують наступні матеріали: 4,5 *кг* нежирної свинини, що нарізається кубиками; 30 *г* чорного перцю, 40 *г* гірчиці, 40 *г* насіння коріандру, 20 *г* часникового порошку, 60 *г* запашного перцю, 20 *г* цедри мускатного горіха, 20 *г* червоного перцю, 10 *г* імбирного порошку, 10 *г* апельсинової або лимонної цедри (подрібненої).

До першого етапу даної технології відносять підготовку свинини шляхом її промивання та нарізання невеликими шматочками, видалення оболонки та зайвого жиру. Далі здійснюють маринування сировини при додаванні до нарізаної свинини відповідної кількості солі, білого цукру, чорного перцю, запашного перцю та інших приправ; рівномірне перемішування продукта з певною кількістю пива; дифузія інгредієнтів маринаду протягом кількох годин для отримання специфічного смаку пива і приправ. Мариновану свинину подрібнюють на м'ясорубці або іншим ножовим пристроєм.

Після необхідного очищення оболонок методами пензеловки, шлямування та промивання здійснюють начинку ковбасок. Наповнені ковбаски зв'язують бавовняною ниткою або мотузкою через рівні проміжки для полегшення сегментації. Потім продукцію підвішують для сушіння в добре провітрюваному приміщенні від кількох днів до кількох тижнів; або здійснюють спеціальну термічну обробку до готовності (рис.1).

Рисунок 1. Пивна ковбаса із вмістом свинини та яловичини

Для проведення порівняльної оцінки були використані такі типи китайських ковбас: зразок 1 – звичайна свиняча ковбаса; зразок 2 – овочева ковбаса; зразок 3 – ковбаса по-кантонськи; зразок 4 – пивна ковбаса на базі свинини; зразок 5 – пивна ковбаса на базі свинини та яловичини. За даними експериментальних досліджень у табл.1 розмістили характеристики досліджуваних зразків ковбас за вмістом шкідливих речовин.

Таблиця 1. Уміст шкідливих речовин у досліджуваних сортах ковбас: середні значення за експериментальними даними

№ п/п	Шкідливі компоненти, мг	Нормативні межі параметрів	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3	Зразок 4	Зразок 5
1	Натрієва сіль	700-1200	1000	700	950	900	925
2	Жири	0-30	40,7	18,16	37,3	18,8	22,53
3	Холістерин	50-100	82	34	94	59	62
4	Нітрити	0-100	85	41	91	62	71
5	Сірка	50-100	205,52	136,081	0,04	104,95	130,76
6	Хлор	500-1000	3560,8	1369,3	2278,9	1912,1	1128,7

Для оцінки можливих відхилень характеристик продукції від граничних (максимальних) нормативних або рекомендованих величин використовували розроблений *коефіцієнт відповідності нормативної границі якості*

$$k_{вгн} = \Sigma f_i / m, \quad (1)$$

Де F_i – дійсне значення поточного параметру; F_{max} – максимальне значення нормованого параметру (табл. 2); $f_i = F_i / F_{max}$.

Для двобічного оцінювання при використанні характеристик, що представлені у таблиці 2, розробили і запропонували *коефіцієнт відповідності заданому інтервалу якості*

$$k_{вія} = S_i / S_c, \quad (2)$$

Де S_c – середня величина площі правильного багатокутника за даним нормованим інтервалом (табл.1), що можна інтерпретувати як двобічну оцінку; S_i – величина площі, що відповідає факторному простору поточних параметрів.

Цей критерій оцінки показує, наскільки наближається комплекс показників якості зразка продукту до нормативного інтервалу якості, що алгебраїчно визначається при наближені отриманого результату до одиниці. Тобто за результатами показаного вище математичного дослідження шукані моделі оцінювання якості для найбільш технологічно вдалого зразка олійної сировини складають:

$$k_{вія} = S_i / S_c \rightarrow 1 \quad (3)$$

Для нормативних характеристик утворена площа відображається у вигляді правильного багатокутника, яка окреслена на рисунку 1 синім кольором (рис. 1) та дорівнює:

$$S_n = ma^2/[4tg(180/m)], \quad (4)$$

Де m – кількість кутів або сторін багатокутника, що складає кількість використаних характеристик продукції; a – величина сторони багатокутника, яку можна знайти через напівдіагональ R як:

$$a = 2R\sin(180/m) \quad (5)$$

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ОБГОВОРЕННЯ. Аналіз існуючих моделей якісного стану харчових виробів при допомозі органолептичних діаграм виявив, що результати оцінки мають незначну та обмежену за кількістю незалежних оціночних параметрів, що можна визначити при використанні лише органів чуття експерта. Така методика має явно виражений суб'єктивний характер у ході оцінки якості продукції, не передбачає використання цифрової інформації (Palamarchuk, Igor et al., 2025).

За використання спектральних характеристик об'єктів об'єктів дослідження дозволив досягти два різних контрольовані методи класифікації для завершення вилучення інформації про досліджуване середовище. Застосовуючи дане перетворення до гіперспектральних даних, спостерігалося, що кумулятивна дисперсія перших 10 смуг трансформованого зображення досягає 80 % (Wu Ya et al., 2024).

Wu Xiao використав гіперспектральну технологію та випробував різні моделі даної методики дослідження для ідентифікації різних видів меду (Wu Xiao, 2024). Guo Peiyuan використав гіперспектральну технологію для побудови ітеративної моделі машинного навчання дерева рішень для ідентифікації колоній ковбас (Guo Peiyuan et al., 2020). Середньоквадратична похибка представлених моделей становила відповідно 0,001 та 0,003, а коефіцієнт детермінації R^2 виявився рівним 0,998 та 0,996, що дозволило досягти хороших результатів прогнозування.

Yu Yingjie [8] за допомогою цієї технології для моделі класифікації різних сортів зеленого чаю довів, що використаний алгоритм на основі гіперспектральних даних ближнього інфрачервоного діапазону після нормалізації похідних першого порядку можна досягти точності прогнозування 94,87 % (Yu Yingjie, 2020).

Для реалізації розробленого методу математичного моделювання висунули наукову *гіпотезу*, згідно із якою факторний якісний простір візуально можна представити у вигляді геометричної моделі багатокутника, напівдіагоналі якого становлять значення поточних параметрів якості досліджуваного зразка продукції, що наводяться у безрозмірних одиницях; чисельно факторний простір продукції визначається площею побудованої фігури. Отже, відповідні площі неправильних багатокутників дають можливість чисельно оцінити якісний стан продукції, що можна порівняти із нормативним факторним простором, який описується площею правильного багатокутника (Mushtruk et al., 2023; Palamarchuk et al., 2024).

За результатами математичного аналізу визначили площі багатокутників за поточними параметрами досліджуваних зразків соняшникової олії, що для 6-факторного простору оцінювання складає (Palamarchuk, Igor et al., 2025):

$$S_{06} = 0,5 \sin 60 \, [R_1 \cdot R_2 + R_2 \cdot R_3 + R_3 \cdot R_4 + R_4 \cdot R_5 + R_5 \cdot R_6 + R_6 \cdot R_1] \quad (6)$$

Для переведення даних параметрів у безрозмірні комплекси часткові величини R_i (табл. 2) визначали як відношення величин експериментально визначеного параметру до нормованого його значення (Palamarchuk, Igor et al., 2025). Отже, перераховані нормативні характеристики дорівнюють R = 1,0 ум. од., а поточні характеристики R_i складають його частку або пропорційну величину.

Відповідно до експериментальних даних для овочевої ковбаси (табл. 2) провели розрахунок основних показників для побудови математичної моделі згідно із представленою вище методикою розрахунку (табл. 1) за вмістом шкідливих речовин.

Використовуючи розрахункові значення поточних параметрів R_i (табл. 2), побудували геометричну модель якості досліджуваного контрольного зразка овочевої ковбаси свинячої на основі двобічного оцінювання (рис. 2) за вмістом шкідливих речовин.

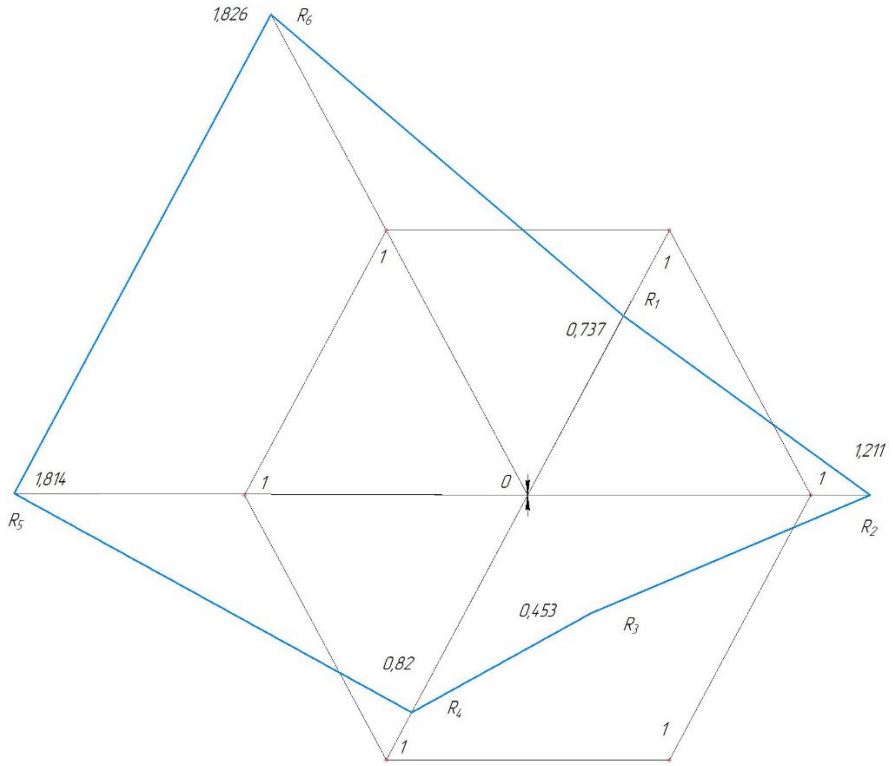

Рисунок 2. Математична модель якості досліджуваного зразка № 2 ковбаси овочевої за використання двобічної оцінки факторного простору за вмістом шкідливих речовин

Аналіз геометричних моделей на рисунку 2 свідчить, що зразок овочевої ковбаси перевищує нормативні значення за вмістом сірки та хлору відповідно на 81,4 та 82,6 %. Загалом за всіма негативними параметрами має місце перевищення нормативу в 1,32 рази (табл. 2).

Таблиця 2. Розрахунок параметрів якості овочевої ковбаси (зразок 2) за вмістом шкідливих речовин

№ п/п	Показник, мг	Норма			Характеристики якості зразка продукції					
		F_c	R, ум. од.	F_{max}	f_i	R_i, ум. од.	S_c, ум. од^2	S_i, ум. од^2	$k_{вія}$	$k_{вгн}$
1	Уміст натрієвої солі	950	700	1200	0,583	0,737	2,598	3,45	1,328	0,778
2	Уміст жиру	15	18,16	30	0,605	1,211				
3	Уміст холестерину	75	34	100	0,34	0,453				
4	Уміст нітритів	50	41	100	0,41	0,82				
5	Уміст сірки	75	136,081	100	1,361	1,814				
6	Уміст хлору	750	1369,3	1000	1,369	1,826				

Примітка: F_c – середня величина нормованого параметру, що оцінюється; F_{max} – максимальне значення нормованого параметру; R = 1,0 – величина нормованого параметру в умовних одиницях; F_i – дійсне значення поточного параметру; R_i – поточні параметри, що представлені в ум. од.; S_i – факторний простір поточних параметрів, що визначається площею неправильного багатокутника, ум. од^2; $S_н$ – нормативний факторний простір: для двобічної оцінки $S_н = S_c$, ум. од^2; $k_{вія}$ – коефіцієнт відповідності заданому інтервалу якості; $k_{вгн}$ – коефіцієнт відповідності нормативам якості.

Відповідно до експериментальних даних для ковбаси кантонської (табл.1) провели розрахунок основних показників для побудови математичної моделі (табл. 3) за вмістом шкідливих речовин. Використовуючи розрахункові значення поточних параметрів R_i (табл.3), побудували геометричну модель якості досліджуваного зразка №3 ковбаси кантонської у результаті двобічного оцінювання (рис.3) за вмістом шкідливих речовин.

Таблиця 3. Розрахунок параметрів якості ковбаси кантонської (зразок 3) за вмістом шкідливих речовин

№ п/п	Показник, мг	Норма			Характеристики якості зразка продукції					
		F_c	R, ум. од.	F_{max}	f_i	R_i, ум. од.	S_c, ум.од^2	S_i, ум.од^2	$k_{вія}$	$k_{вгн}$
1	Уміст натрієвої солі	950	950	1200	0,792	1,0	2,598	4,73	1,821	1,027
2	Уміст жиру	15	37.3	30	1,243	2,487				
3	Уміст холестерину	75	94	100	0,94	1,253				
4	Уміст нітритів	50	91	100	0,91	1,82				
5	Уміст сірки	75	0.04	100	$4\cdot10^{-4}$	$5,3\cdot10^{-4}$				
6	Уміст хлору	750	2278,9	1000	2,279	3,039				

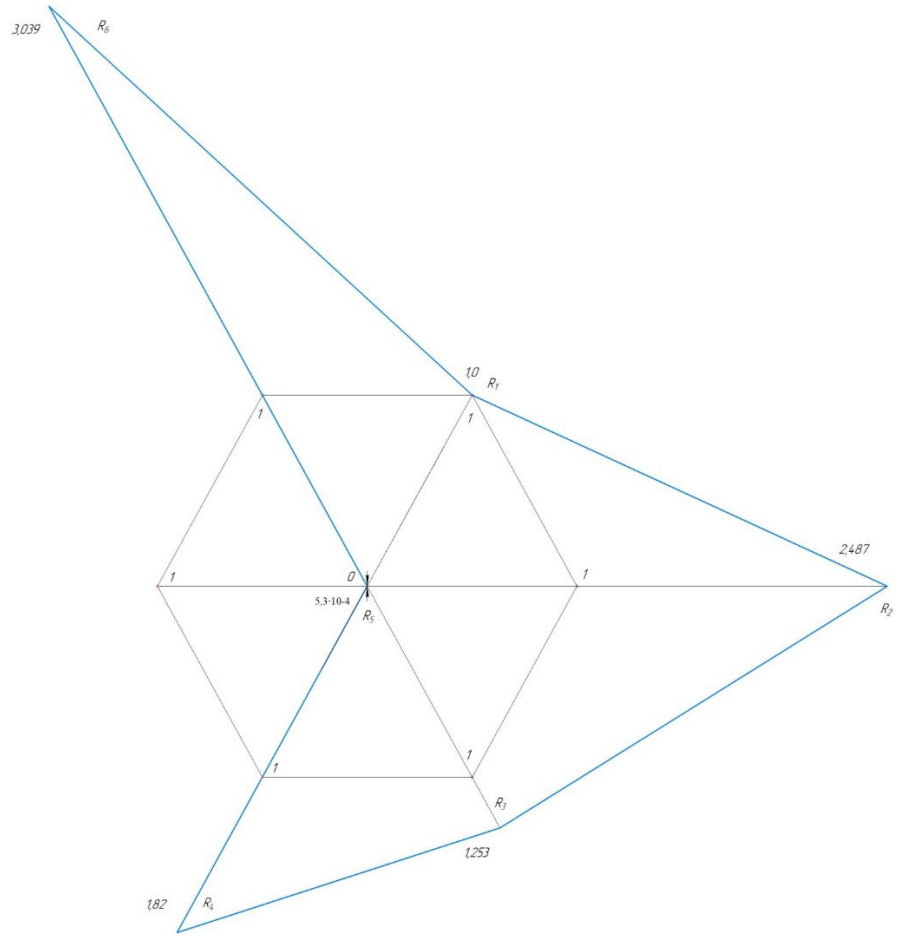

Рисунок 3. Математична модель якості досліджуваного зразка № 3 ковбаси контонської за використання двобічної оцінки факторного простору за вмістом шкідливих речовин

Аналіз геометричних моделей на рисунку 3 свідчить, що зразок кантонської ковбаси перевищує нормативні значення за вмістом жиру, холестерину, нітритів та хлору відповідно у 2,487 рази, на 25,3 та 82 % та у тричі. Загалом за всіма негативними параметрами має місце перевищення нормативу в 1,821 рази (табл. 3).

Відповідно до експериментальних даних для ковбаси пивної (табл. 1), рецептура якої передбачає базовий уміст свинини, провели розрахунок основних показників для побудови математичної моделі (табл. 4), використовуючи розрахункові значення поточних параметрів R_i (табл. 4), побудували геометричну модель якості досліджуваного зразка № 4 ковбаси пивної у результаті двобічного оцінювання (рис. 4) за вмістом шкідливих речовин.

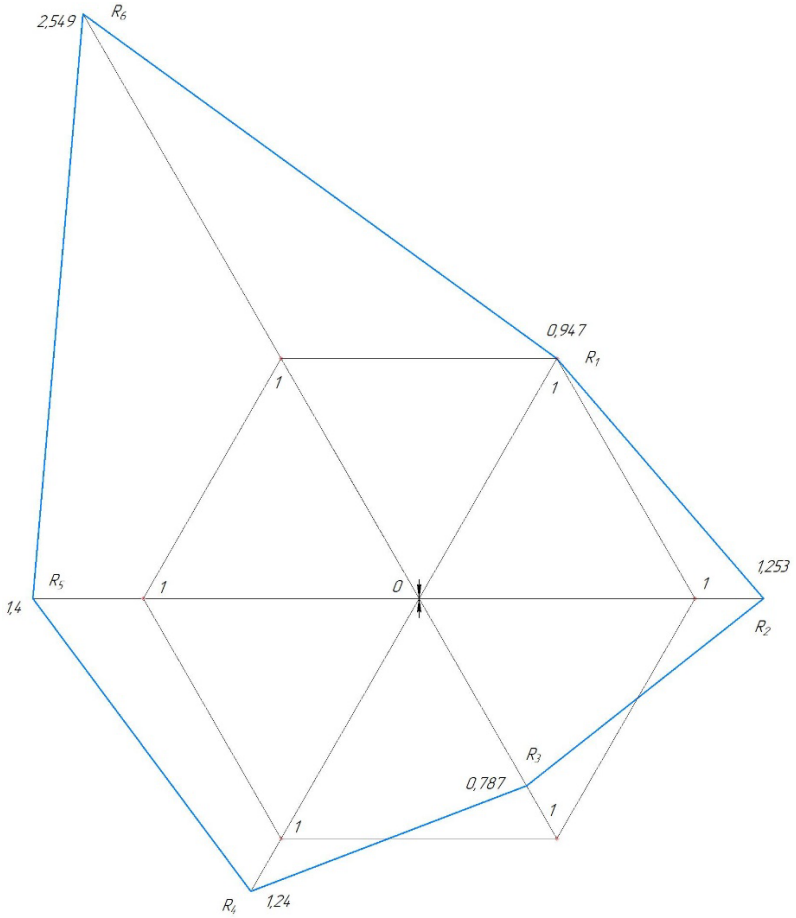

Рисунок 4. Математична модель якості досліджуваного зразка № 4 ковбаси пивної за використання двобічної оцінки факторного простору за вмістом шкідливих речовин

Аналіз геометричних моделей на рисунку 4 свідчить, що зразок № 4 пивної ковбаси перевищує нормативні значення за вмістом жиру, нітритів, сірки та хлору відповідно на 25,3; 24 та 40 % та у 2,55 рази. Загалом за всіма негативними параметрами має місце перевищення нормативу в 1,813 рази (табл. 4).

Відповідно до експериментальних даних для ковбаси пивної (табл. 1), рецептура якої передбачає базовий уміст свинини та яловичини, провели розрахунок основних показників для побудови математичної моделі (табл. 4).

Використовуючи розрахункові значення поточних параметрів R_i (табл.1), побудували геометричну модель якості досліджуваного зразка №5 ковбаси пивної на основі свинини та яловичини у результаті двобічного оцінювання (рис.5) за вмістом шкідливих речовин.

Таблиця 4. Розрахунок параметрів якості ковбаси пивної (зразок 4) за вмістом шкідливих речовин

№ п/п	Показник, мг	Норма			Характеристики якості зразка продукції					
		F_c	R, ум. од.	F_{max}	f_i	R_i, ум. од.	S_c, ум. од^2	S_i, ум. од^2	$k_{вія}$	$k_{вгн}$
1	Уміст натрієвої солі	950	900	1200	0,75	0,947	2,598	4,71	1,813	0,931
2	Уміст жиру	15	18,8	30	0,627	1,253				
3	Уміст холестерину	75	59	100	0,627	0,787				
4	Уміст нітритів	50	62	100	0,62	1,24				
5	Уміст сірки	75	104,95	100	1,05	1,4				
6	Уміст хлору	750	1912,1	1000	1,912	2,549				

Таблиця 5. Розрахунок параметрів якості ковбаси пивної на основі свинини та яловичини (зразок 5) за вмістом шкідливих речовин.

№ п/п	Показник, мг	Норма			Характеристики якості зразка продукції					
		F_c	R, ум. од.	F_{max}	f_i	R_i, ум. од.	S_c, ум.од^2	S_i, ум.од^2	$k_{вія}$	$k_{вгн}$
1	Уміст натрієвої солі	950	925	1200	0,771	0,974	2,598	4,52	1,74	0,882
2	Уміст жиру	15	22.53	30	0,751	1,502				
3	Уміст холестерину	75	62	100	0,62	0,827				
4	Уміст нітритів	50	71	100	0,71	1,42				
5	Уміст сірки	75	130,76	100	1,308	1,743				
6	Уміст хлору	750	1128,7	1000	1,129	1,505				

Використовуючи розрахункові значення поточних параметрів R_i (табл. 1), побудували геометричну модель якості досліджуваного зразка № 5 ковбаси пивної на основі свинини та яловичини в результаті двобічного оцінювання (рис. 5) за вмістом шкідливих речовин.

Аналіз геометричних моделей на рис.5 свідчить, що зразок №5 пивної ковбаси перевищує нормативні значення за вмістом жиру, нітритів, сірки та хлору відповідно на 50,2; 42; 74,3 та 50,5 %. У цілому за всіма негативними параметрами має місце перевищення нормативу в 1,74 рази (табл. 5).

Використовуючи результати графо-аналітичного аналізу зразків китайських ковбас за вмістом шкідливих речовин, при реалізації математичного моделювання методом факторних просторів були отримані наступні критерії оцінки якості досліджуваної продукції (табл. 6).

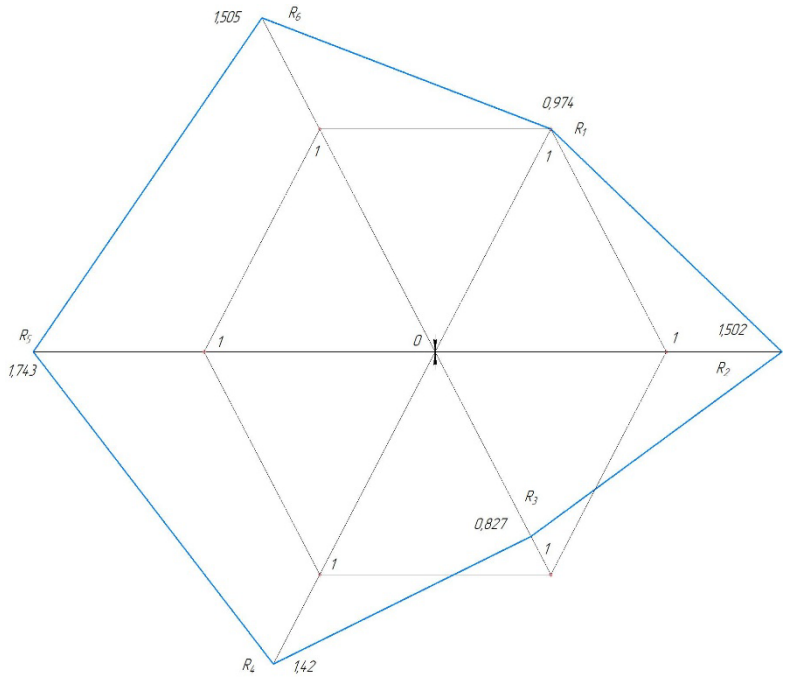

Рисунок 5. Математична модель якості досліджуваного зразка №5 ковбаси пивної на основі свинини та яловичини при використанні двобічної оцінки факторного простору за вмістом шкідливих речовин

Таблиця 6. Критерії оцінки якості китайських ковбас за вмістом шкідливих речовин

№ п/п	Тип китайської ковбаси	Факторна площа		Характеристики якості плодів	
		S_c, ум. од^2	S_i, ум. од^2	$k_{вія}$	$k_{вгн}$
1	Зразок № 1: ковбаса свиняча звичайна	2,598	13,14	5,058	1,579
2	Зразок № 2: ковбаса овочева	2,598	3,45	1,328	0,778
3	Зразок № 3: кантонська ковбаса	2,598	4,73	1,821	1,027
4	Зразок № 4: ковбаса пивна	2,598	4,71	1,813	0,931
5	Зразок № 5: пивна ковбаса на основі свинини та яловичини	2,598	4,52	1,74	0,882

Примітка: $S_н$ – факторна площа нормативних параметрів, що визначалась за однобічною оцінкою; $S_п$ – факторна площа поточних негативних або позитивних параметрів, що визначалась за однобічною оцінкою; S_c – середня факторна площа, що визначалась за двобічною оцінкою; $k_{яз}$ – коефіцієнт зростання якості; $k_{вн}$ – коефіцієнт відповідності нормативам якості; $k_{вія}$ – коефіцієнт відповідності заданому інтервалу якості

На основі даних таблиці 6 здійснили порівняльний графо-аналітичний аналіз зміни критеріїв оцінки якості досліджуваних зразків ковбас, що розміщені на рисунку 6.

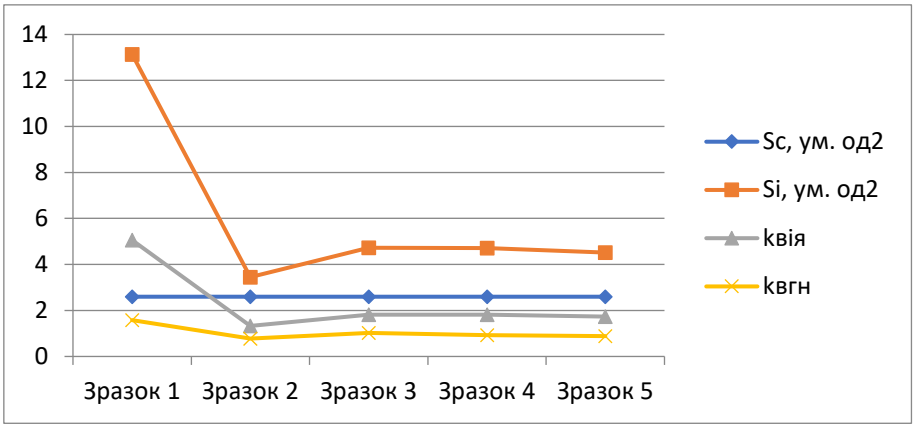

Рисунок 6. Порівняльний аналіз зміни критеріїв оцінки якості досліджуваних зразків ковбас за вмістом шкідливих речовин

Із рисунку 6 очевидно, що факторний простір овочевої ковбаси (зразок 2) значно перевищує нормативні показники для всіх проведених методів оцінки; ковбаса свиняча звичайна (зразок 1) для методів оцінки за загальними характеристиками її харчової цінності та вмістом шкідливих компонентів практично повторює негативну динаміку, як і для овочевої ковбаси; зразок ковбаси свинячої звичайної показує аномальне перевищення допустимого вмісту шкідливих компонентів, які були представлені для оцінки; зразки ковбас 3, 4 та 5 для всіх методів оцінки показують позитивну зміну динаміки використаних критеріїв оцінки.

ВИСНОВКИ. За результатами оцінки якісних властивостей ковбас за вмістом шкідливих речовин найгірші характеристики виявились у ковбаси свинячої звичайної (зразок № 1). Так для даного сорту ковбаси коефіцієнт відповідності нормативної границі у 5,058 разів перевищує середній нормативний показник та у 1,579 рази в середньому розрахунку перевищує граничні нормативні характеристики. Найкращі характеристики виявились у зразка № 2 ковбаси овочевої: коефіцієнт відповідності заданому інтервалу якості $k_{вія} = 1,328$, тобто найбільш близько наближається до 1 порівняно із іншими досліджуваним сортами ковбас, а коефіцієнт відповідності нормативним границям $k_{вгн} = 0,778$ для цієї ковбаси, тобто має певний запас до максимального граничного значення. Для решти досліджуваних сортів ковбаси, окрім зразка №1, використані критерії оцінки виявились достатньо близькими до зразка № 2.

Зразки № 4 та № 5 пивних китайських ковбас виявили достатньо високий якісний стан за вмістом шкідливих речовин. Пивні ковбаси з основою із свинини та яловичини за вибраними критеріями оцінки поступаються лише овочевій ковбасі.

Перспективи застосування та розвитку розробленого методу математичного моделювання базується на використанні чисельних характеристик оцінки, які є необмеженими за кількістю; що при наявності межі нормативних значень оціночних параметрів дозволяє з високою точністю адекватно оцінити якісний стан об’єкту досліджень, у якості якого може бути як продукція харчових і переробних виробництв, так і технології, операції, процеси, обладнання для їхньої реалізації.

Подяки. Немає.
Конфлікт інтересів. Немає.

References

Priss, O. (2024). Introduction: Focus on food system challenges. In *Food Technology Progressive Solutions* P. 1–3. https://doi.org/10.21303/978-9916-9850-4-5.introduction

Priss, O., Pugachov, M., Pugachov, V., Yaremko, I., & Shchabelska, V. (2023). The Development of the World Economy and the Impact of the Global Food Crisis 2022-2023. *Economic Affairs*,

68(1s), P. 35–42. https://doi.org/10.46852/0424-2513.1s.2023.5

Guo, J. (2023). Process optimization of chicken-duck-pork composite Cantonese sausage [Master's thesis, Yunnan Agricultural University]. http://dx.doi.org/10.27458/d.cnki.gynyu.2023.000026.

Li, G., Jia, J., & Li, M. (2023). Research on key production processes and packaging technology of fermented dry sausage. China Condiment, 48(11), 139–142.

Wu, Y. (2021). Process optimization and quality characteristics analysis of chickpea-composite fish sausage during storage [Master's thesis, Xinjiang Agricultural University]. http://dx.doi.org/10.27431/d.cnki.gxnyu.2021.000725.

Weigel, I., Nistler, S., Pichner, R., Budday, S., & Gensberger-Reigl, S. (2023). Dried vegetables as potential clean-label phosphate substitutes in cooked sausage meat. *Foods*, 12(10). http://dx.doi.org/10.3390/foods12101960.

Zhang, Y., et al. (2020). Traditional Chinese sausage fermentation: Microbial dynamics and flavor formation. *International Food Research Journal*, 27(4), 123–135.

Luyao G. (2024). Research on myofibrillar protein gel properties of mixed meat of livestock and poultry and development of dietary fiber composite beef sausage [D]. Jilin University. http://dx.doi.org/10.27162/d.cnki.gjlin.2024.001620.

Wang, L. (2021). Advances in vegetable-enriched meat product development. *Journal of Food Science*, 86(8), 3025–3034

Ma Bolun, Li Jia, Jia Bihong (2020). Current status and trends of Sichuan sausage seasoning[J]. *Meat Industry*, (11): 1-8.

Jie G (2023). Process optimization of mixed chicken, duck and pork Cantonese sausage[D]. Yunnan Agricultural University. http://dx.doi.org/10.27458/d.cnki.gynyu.2023.000026.

Mikami N, Tsukada Y, Pelpolage S., et al. (2020). Effects of sake lees (Sake-kasu) supplementation on the quality characteristics of fermented dry sausages. Heliyon,2020,6(2):e03379.http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03379

Yuhe W. (2021). Process optimization of chickpea composite fish sausage and analysis of quality characteristics during storage period [D]. Xinjiang Agricultural University. http://dx.doi.org/10.27431/d.cnki.gxnyu.2021.000725.

Post, M. J., et al. (2020). Sustainable protein sources for meat analogues. *Nature Food*, 1(12), 782–789.

Li Qingguang, Liu Shuiqing, Liu Xiaoxia (2021). Research progress of composite sausage[J]. *Fresh-keeping and Processing*, 21(08): 139-145.

Xiao Sili, Li Bowen, Liu Qiaoyu (2023). Process optimization and quality analysis of fish and pork composite sausage[J]. Meat Research, 2023, 37 (08): 8-13.

Domínguez, R., Pateiro, M., Gagaoua, M., Barba, F. J., Zhang, W., & Lorenzo, J. M. (2021). Sausages: Nutrition, safety, processing, and quality improvement. *Foods*, 10(4), 890. http://dx.doi.org/10.3390/foods10040890.

FAO/WHO Codex Alimentarius Commission. (2020). *General standard for food additives*. Rome: Food and Agriculture Organization; 2020.

Ge, L. (2024). Study on myofibrillar protein gel properties of mixed livestock and poultry meat and development of dietary fiber composite beef sausage [Master's thesis, Jilin University]. CNKI. http://dx.doi.org/10.27162/d.cnki.gjlin.2024.001620

Zhao, X., et al. (2022). Recent advances in meat science and technology. *Meat Science,* 2022. P. 108–117.

Mikami N., Tsukada Y., Pelpolage S., et al. (2020). Effects of sake lees (Sake-kasu) supplementation on the quality characteristics of fermented dry sausages[J]. *Heliyon*, 6(2): e03379. http://dx.doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e03379.

Li Qingguang, Liu Shuiqing, Liu Xiaoxiao (2021). Research progress of composite sausage [J]. *Freshness and Processing*, 21(08): 139-145.

GB 29921-2021 (2021). *National Food Safety Standard*. Standardization Administration of China.

Xin N., Hongfan Ch., Jingjing M., et al. (2023). Changes of volatile flavor compounds in Cantonese

sausages during air-drying period of sauce-flavored liquor[J]. *Food & Machinery,* 39(12),: P. 8-17. http://dx.doi.org/10.13652/j.spjx.1003.5788.2023.81083.

Wang Li; Tolok Galina; Fu Yuanxia; Xu, Li; Li Li; Gao Hui; Zhou Yu (2024). Application and Research Progress of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy in Agricultural Product Inspection. ACS Omega, Vol 9/Issue 23, May 29, 2024 https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.4c02104(Application and Research Progress of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy in Agricultural Product Inspection | ACS Omega)

Wang, L., Zhang, Y., Li, Z., et al. (2020). Dynamic evaluation model of apple storage quality based on FAM. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, *36*(21), 294–303. (in Chinese)

Guo, B. (2021). Rapid detection of meat quality using reflectance spectroscopy and hyperspectral imaging combined with multivariate analysis [Doctoral dissertation]. Anhui University, Hefei.

Palamarchuk I.; Zavialov V.; Yuanxia Fu; Palamarchuk V.; Popova N (2025). Mathematical Modeling by the Factorial Area Method in Evaluating the Quality Characteristics of the Studied Samples. Advances in design, simulation and manufacturing processes VIII, 2025. P.147 – 156 DOI: 10.1007/978-3-031-95218-0_13

Wu Ya, Yuan Weidong, Zhou Yu (2024). Research progress of microscopic hyperspectral imaging technology in food quality and safety detection [J/OL]. Food and Fermentation Industries, Application and Research Progress of Laser-Induced Breakdown Spectroscopy in Agricultural Product Inspection | ACS Omega, 2024. P. 1-12. https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.4c02104).

Wu Xiao (2023). Research on honey classification and adulteration based on the combination of multi-spectral dimension and machine learning[D]. Yunnan Normal University, 2023.

Guo Peiyuan, Xu Pan, Dong Xiaodong (2020). Prediction of total colony count in sausages based on hyperspectral technology combined with iterative decision tree[J]. *Food Science*, 40(06): 312-317.

Yu Yingjie (2020). Tea identification analysis based on near infrared spectroscopy and hyperspectral technology [D]. Fujian Agriculture and Forestry University, 2020.

Mushtruk, M., Palamarchuk, I., Palamarchuk, V., .Petrychenko, I., Pylypchuk, O. (2023). Mathematical modelling of quality assessment of cooked sausages with the addition of vegetable additives. P*otravinarstvo,* 17, pp. 242–255. https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57208018791

Palamarchuk, Igor P., Adamchuk, Leonora, Palamarchuk, Vladyslav I., ... T., Hutsol, Taras, O., Bezaltychna, O (2024). Assessment of the Ecological Safety of Honey with the Help of "Factor Area" Models. *Sustainability* (Switzerland), 2024. https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57208018791

Palamarchuk, I., Mushtruk, M., Piddubny, V., Tkachenko H (2025). Modeling of the qualitative state of oilseeds from soybean seeds by multifactorial analysis of factor areas. *Scifood*, Vol. 19, https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57208018791

Отримано 06.06.2025 р., прийнято до друку 28.07.2025 р.