

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

СКУЙБІДА ВАЛЕРІЯ ВІТАЛІЇВНА

УДК 637.146:664.8

ДИСЕРТАЦІЯ

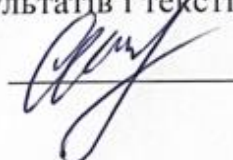
РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФЕРМЕНТОВАНИХ МОЛОЧНО-
РОСЛИННИХ ПРОДУКТІВ

Спеціальність 181 Харчові технології

Галузь знань 18 Виробництво та технології

Подається на здобуття наукового ступеня доктора філософії

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

 В.В.Скуйбіда

Науковий керівник: Онопрійчук Олена Олександрівна, доцент, кандидат
технічних наук



Київ – 2025

АНТОТАЦІЯ

Скуйбіда В.В. – Розроблення технології ферментованих молочно-рослинних продуктів – кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 181 «Харчові технології» – Національний університет харчових технологій, Київ, 2025.

Дисертаційну роботу присвячено розробленню технології ферментованих молочно-рослинних продуктів на основі концентратів, отриманих способами термокислотної або кислотно-сичужної коагуляції, та уточненню технологічних режимів виробництва нових видів продуктів.

Досліджено сучасний стан та перспективи розвитку асортименту молочно-рослинних продуктів, проаналізовано економічні та соціальні чинники, які обґрунтовують доцільність впровадження білоквмісної рослинної сировини в технологію молочно-білкових концентратів. Визначено основні вимоги до рослинної сировини з підвищеним вмістом білка, а саме функціонально-технологічні та органолептичні показники. Проведено порівняльний аналіз методів коагуляції білків різного походження, що дозволило адаптувати класичні технологічні підходи для отримання концентратів термокислотним або кислотно-сичужним способами при сумісній коагуляції молочних та рослинних білків. Оцінено альтернативні види рослинного молока та його потенціал для виробництва комбінованих продуктів на молочній основі. Обґрунтовано вибір ядер плодів *Arachis hypogaea*, що містять в середньому 22 % білку як основної рослинної білоквмісної сировини завдяки високій біологічній цінності та функціональним характеристикам. Проаналізовано ефективні прийоми попередньої обробки ядер плодів *Arachis hypogaea* для зменшення алергенного потенціалу, деактивування інгібіторів травних ферментів та покращення їх фізико-хімічних показників зі збереженням технологічних властивостей білків арахісу.

Досліджено вплив тривалості попереднього замочування ядер плодів *Arachis hypogaea* на їх органолептичні властивості та встановлено, що оптимальна тривалість 480 хв (8 год) забезпечує максимальну сумарну оцінку 98 балів за показниками смаку, консистенції, зовнішнього вигляду та вологості. Обґрунтовано вибір молочної сироватки як дисперсійного середовища для створення суспензії з обробленими ядрами плодів *Arachis hypogaea*, завдяки вмісту в ній сироваткових білків, лактози, мінеральних речовин та вітамінів, що підвищує біологічну цінність та стабілізаційні властивості суспензії. Визначено раціональні технологічні параметри формування сироватково-рослинної суспензії: співвідношення – 5 : 1 (сироватка : ядра плодів арахісу), час подрібнення 4–5 хв, за яких масова частка сухих речовин становить 8,4–8,9 %, що відповідає нормативному вмісту для знежиреного молока (8,5–9 %). Експериментально підтверджено, що нагрівання до 70 °С сприяє ефективному переходу сухих речовин ядер плодів *Arachis hypogaea* у дисперсійне середовище – сироватку молочну, забезпечує дезактивацію патогенних мікроорганізмів і формування стабільної структури суспензії без небажаної денатурації білків. Доведено, що термічна обробка ядер плодів *Arachis hypogaea* за 120 °С протягом 30–35 хв підвищує перетравлюваність білків *in vitro* сироватково-рослинної суспензії, що свідчить про значне зростання концентрації тирозину у фільтраті.

Для отримання концентрату використовують суміш знежиреного молока з сироватково-рослинною суспензією. Досліджено вплив вмісту сироватково-рослинної суспензії (20, 30, 40 %), гідромодуля (1:3; 1:5; 1:7) і тривалості самопресування (10, 20, 30 хв) на основні показники якості ферментованого молочно-рослинного білкового концентрату за допомогою повнофакторного експерименту за методом Бокса-Уілсона. Отримані рівняння регресії описують залежність виходу концентрату, активної кислотності, масової частки води та вологоутримуючої здатності від варіації цих трьох факторів. Встановлено, що термокислотне осадження з

30 % суспензії при гідромодулі 1:3 і самопресуванні 30 хв забезпечує максимальний вихід білкового згустку – близько 36 %, масову частку води 28–41 % та вологоутримуючу здатність до 88 % за pH 5,3–5,8.

Удосконалено параметри ферментації з використанням закваски *Probat 222*: інокуляція на рівні 10 DCU забезпечує зростання чисельності молочнокислих бактерій до 5–6 log КУО/г протягом 4–5 год без надмірного зниження pH (до 4,2–4,3). Доведено доцільність застосування кислотно-сичужної коагуляції з 30 % сироватково-рослинної суспензії за співвідношень «молоко : суспензія» на рівні 4 : 1 і 7 : 3, які забезпечують вихід концентрату 22,8–24,7 %, вологоутримуючу здатність 73,8–76,2 %, однорідну структуру та збалансований смак із легким горіховим ароматом.

Досліджено форми зв'язку води в молочно-рослинних концентратах методами термічного аналізу (TGA, DTG, DTA). Встановлено, що при кислотно-сичужній коагуляції переважає фізико-хімічно зв'язана вода (інтервал температур 125–176 °C). Це забезпечує підвищену водоутримуючу здатність та термічну стійкість структури, тоді як у термокислотних зразках домінує вільна вода (< 125 °C), що корелює зі збільшеною пластичністю матриці. Реологічні випробування на реометрі *Kinexus Pro+* підтвердили псевдопластичну поведінку систем та показали, що ефективна в'язкість концентрату, отриманого кислотно-сичужним способом, становить 70,0 Па·с (на 36,8 % менше за молочно-білковий контроль), тоді як у концентраті, отриманому термокислотним способом, вона дорівнює 22,0 Па·с (у 2,4 рази вище контрольного зразка) при швидкості зсуву $\dot{\gamma} = 10,15 \text{ c}^{-1}$. Мікроструктурний аналіз світловою мікроскопією продемонстрував утворення щільної каркасної матриці з глобулами діаметром 50–520 мкм, мікропорами 35–90 мкм та жировими включеннями 7,5–11,5 мкм, що обумовлює високу когезію та стійкість до механічних навантажень.

Досліджено амінокислотний склад молочно-рослинного концентрату з ядрами плодів *Arachis hypogaea* та встановлено, що загальний вміст амінокислот у ньому зменшився на 29 %, порівняно з молочно-білковим.

Водночас спостерігається підвищення коефіцієнта утилітарності незамінних амінокислот (U) з 0,739 до 0,754, коефіцієнта різниці амінокислотного скору (КРАС) з 0,739 до 0,754 та біологічної цінності (БЦ) з 71,39 % до 73,71 %, що свідчить про більш збалансований амінокислотний профіль завдяки синергетичному доповненню лімітуючих амінокислот метіоніну й цистину.

Комплексно оцінено якість ферментованих молочно-рослинних продуктів (сирків глазурованих і сиркової пасти солоної) за органолептичними, фізико-хімічними й мікробіологічними показниками: рН $5,4 \pm 0,2$; вологоутримуюча здатність 75 ± 3 %; мікрофлора в межах нормативів (молочнокислі бактерії $\geq 10^6$ КУО/г, дріжджі ≤ 25 КУО/г, пліснява ≤ 15 КУО/г; відсутність патогенних мікроорганізмів). Доведено, що за зберігання за 4 ± 2 °C протягом 168 год (7діб) зниження рН у продуктах на основі молочно-рослинного концентрату на 31 % менше, ніж у аналогічних на основі молочно-білкового, а зниження вологоутримуючої здатності – на 6,9 % проти 12,9 %, що забезпечує стабільність показників якості протягом гарантованого терміну зберігання.

Удосконалено технологічну схему виробництва ферментованих молочно-рослинних продуктів, включно з попередньою термічною обробкою ядрер плодів *Arachis hypogaea*, оптимізацією співвідношення компонентів та режимів коагуляції (термокислотної або кислотно-сичужної). Промислова апробація в умовах молокопереробного підприємства ТОВ «Сандора» підтвердила ефективність розроблених режимів, а економічний аналіз засвідчив зниження собівартості білкового концентрату на 3,22 % без додаткових інвестицій. Здобуті результати обґрунтовують впровадження технології як інноваційного рішення для виробництва функціональних ферментованих молочно-рослинних продуктів із підвищеною біологічною цінністю та економічною ефективністю.

Ключові слова: молоко; ядра плодів арахісу (*Arachis hypogaea* L.); сироватка молочна; білок; сироватково-рослинна суспензія; молочно-рослинна суміш; термокислотна коагуляція; кислотно-сичужна коагуляція;

закваска; ферментація; оптимізація; органолептичні показники; фізико-хімічні властивості; ефективна в'язкість, біологічна цінність; зберігання.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Публікації у фахових виданнях України та інших держав

1. Skuibida, V., Onopriichuk, O., Tymchuk, A., Soloviov, N., & Grek, O. (2022). Quality Indicators of Multicomponent Dairy-Vegetable Concentrates. *Ukrainian Food Journal*, 11(2), 247-258. (Наукове фахове видання України, категорія А, індексується у наукометричних базах Scopus, InfoBase Index, Chemical Abstracts Service Source Index, Food Science and Technology Abstracts, Emerging Sources Citation Index та ін.). DOI:10.24263/2304-974X-2022-11-2-5.

2. Onopriichuk, O., & Skuibida, V. (2024). Improvement of Fermented Dairy-Plant Concentrate Technology. *Ukrainian Journal of Food Science*, 12(2), 117-130. (Наукове фахове видання України, категорія Б, індексується у наукометричних базах EBSCO, Google Scholar, Index Copernicus, Universal Impact Factor, Directory of Open Access scholarly Resources, CAS Source Index.). DOI: 10.24263/2310-1008-2024-12-2-4. (Особистий внесок Скуйбіда В.В. проведення та організація експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка їх до друку; особистий внесок Онопрійчук О.О. проведення аналізу літератури).

3. Savchenko, O., Grek, O., Skuibida, V., Onopriichuk, O., & Pshenychna, T. (2024). Optimisation of parameters for obtaining milk-plant concentrates. *Animal Science and Food Technology*, 16(1), 126-140. (Наукове фахове видання України, категорія А, індексується у наукометричних базах Scopus, Google Scholar, Index Copernicus, Scientific Indexing Services (SIS), Ulrichsweb, Research Papers in Economics (RePEc), MIAR, BASE, ResearchBib.). DOI:10.31548/animal.1.2025.126.

Тези доповідей та матеріали конференцій

4. Скуйбіда, В.В., & Онопрійчук, О.О. (2021). Розроблення молочних сумішей для ферментованих напоїв. *Наукові здобутки молоді –*

вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 87-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, присвяченої 135-річчю НУХТ, 15–16 квітня 2021 р., Ч. 1, НУХТ, 319.

5. Скуйбіда, В.В., & Онопрійчук, О.О. (2021). Дослідження процесу ферментації молочно-рослинних сумішей. *Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції: програма та тези матеріалів IX-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 09-10 листопада 2021 р., м. Київ*, НУХТ, 190-191.

6. Скуйбіда, В.В., & Онопрійчук, О.О. (2022). Дослідження показників якості ферментованих напоїв з модифікованим складом. *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 88-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, Квітень-Травень 2022 р., Ч. 1*, НУХТ, 256.

7. Скуйбіда, В.В., & Онопрійчук, О.О. (2022). Дослідження стану вологи в рослинному концентраті. *Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Європейські Виміри Сталого Розвитку», 20-21 жовтня 2022*, НУХТ, 64.

8. Скуйбіда, В.В., & Онопрійчук, О.О. (2022). Розроблення полікомпонентних молочно-рослинних концентратів. *Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті євроінтеграції: Програма та тези матеріалів XI Міжнародної науково-технічної конференції, 8 листопада 2022 р., м. Київ*, НУХТ, 216-217.

9. Скуйбіда, В.В., & Онопрійчук, О.О. (2023). Актуальність виробництва крафтових молочно-рослинних продуктів. *Промисловість та крафт для HoReCa в туризмі: досвід, проблеми, інновації: Програма та матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 23-24 травня 2023 р., м. Київ*, НУХТ, 169-170.

10. Скуйбіда, В.В., & Онопрійчук, О.О. (2023). Особливості ферментації напоїв з комбінованими складом сировини. *Сучасні тренди і перспективи в галузі переробки м'яса і молока: Програма та тези*

матеріалів VI Міжнародної науково-технічної конференції, 21 вересня 2023 р., м. Київ, НУХТ, 98.

11. Скуйбіда, В.В., Онопрійчук, О.О., Грек, О.В., & Тимчук, А.В. (2024). Спосіб виробництва сиркового виробу. *Молочна промисловість від виробника до споживача: сучасні тренди та орієнтири: програма та матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 29 травня 2024 р., м. Київ, НУХТ, 37.*

12. Skuibida, Valeriia, & Onopriichuk, Olena. (2024). Relevance of the Development of Dairy and Vegetable Products. *90th International Scientific Conference of Young Scientists and Students "Youth Scientific Achievements to the 21st Century Nutrition Problem Solution", April 11–12, 2024. Book of Abstracts. Part 1, NUFT, Kyiv, 322.*

13. Грек, О.В., Онопрійчук, О.О., Тимчук, А.В., & Скуйбіда, В.В. (2024). Спосіб виробництва сиркового виробу. *Молочна промисловість від виробника до споживача: сучасні тренди та орієнтири: програма та матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 29 травня 2024 р., м. Київ, НУХТ, 37.*

14. Скуйбіда, В.В., Онопрійчук, О.О., Грек, О.В., & Тимчук, А.В. (2024). Спосіб виробництва ферментованого напою з комбінованим складом сировини. *Молочна промисловість від виробника до споживача: сучасні тренди та орієнтири: програма та матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 29 травня 2024 р., м. Київ, НУХТ, 50.*

15. Skuibida, Valeriia, & Onopriichuk, Olena. (2024). Prospects for the Use of Plant Raw Materials in the Technology of Dairy Products. *Молочна промисловість від виробника до споживача: сучасні тренди та орієнтири: програма та матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 29 травня 2024 р., м. Київ, НУХТ, 53.*

16. Skuibida, V.V., & Onopriichuk, O.O. (2024). Features of Production of Fermented Milk-Vegetable Concentrate. *Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті євроінтеграції:*

Програма та тези матеріалів XI Міжнародної науково-технічної конференції, 21 листопада 2024 р., м. Київ, НУХТ, 300-301.

17. Skuibida, V., & Onopriichuk, O. (2025). Determination of the optimal ratio of skimmed milk and dairy-vegetable suspension in mixtures for precipitation. *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 91-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 7-11 квітня 2025 р., Ч. 1, НУХТ, 254.*

Патенти

18. Скуйбіда, В.В., Онопрійчук, О.О., Грек, О.В., & Тимчук, А.В. (2022). Метод виробництва ферментованого напою з комбінованим складом сировини. Патент на корисну модель №152652 (UA). *Державна організація «Українське національне офіс інтелектуальної власності та інновацій».*

ABSTRACT

Skuibida V.V. - Development of technology of fermented milk and vegetable products - qualification scientific work on the rights of a manuscript.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 181 “Food Technologies” - National University of Food Technologies, Kyiv, 2025.

The dissertation is devoted to the development of technology for fermented dairy and vegetable products based on concentrates obtained by thermoacid or acid-rennet coagulation, and the clarification of technological modes of production of new types of products.

The current state and prospects for the development of the range of dairy and vegetable products are investigated, the economic and social factors that justify the feasibility of introducing protein-containing plant materials into the technology of milk protein concentrates are analyzed. The basic requirements for plant raw materials with a high protein content, namely functional, technological and organoleptic parameters, are determined. A comparative analysis of methods of coagulation of proteins of different origin was carried out, which allowed us to adapt classical technological approaches to obtain concentrates by thermoacid or acid-treacle methods with the combined coagulation of milk and plant proteins. Alternative types of vegetable milk and its potential for the production of milk-based combined products have been evaluated. The choice of *Arachis hypogaea* kernels containing an average of 22 % protein as the main plant protein-containing raw material due to their high biological value and functional characteristics is substantiated. The effective methods of pretreatment of *Arachis hypogaea* kernels to reduce the allergenic potential, deactivate digestive enzyme inhibitors and improve their physicochemical parameters while maintaining the technological properties of peanut proteins were analyzed.

The influence of the duration of pre-soaking of *Arachis hypogaea* kernels on their organoleptic properties was investigated and it was found that the optimal duration of 480 min (8 h) provides a maximum total score of 98 points in terms of

taste, consistency, appearance, and moisture. The choice of whey as a dispersion medium for creating a suspension with processed kernels of *Arachis hypogaea* was substantiated due to the content of whey proteins, lactose, minerals and vitamins, which increases the biological value and stabilization properties of the suspension. The rational technological parameters for the formation of whey-plant suspension were determined: the ratio was 5 : 1 (whey : peanut kernels), grinding time 4-5 min, at which the mass fraction of solids is 8.4-8.9 %, which corresponds to the standard content for skim milk (8.5-9 %). It has been experimentally confirmed that heating to 70 °C promotes the effective transfer of dry matter from the kernels of *Arachis hypogaea* kernels to the whey dispersion medium, ensures the deactivation of pathogenic microorganisms and the formation of a stable suspension structure without undesirable protein denaturation. It has been proven that heat treatment of *Arachis hypogaea* kernels at 120 °C for 30-35 min increases the digestibility of proteins in vitro of the whey-plant suspension, which indicates a significant increase in the concentration of tyrosine in the filtrate.

To obtain the concentrate, a mixture of skim milk and whey-plant suspension is used. The influence of the content of whey-plant suspension (20, 30, 40 %), the hydraulic module (1:3; 1:5; 1:7) and the duration of self-pressing (10, 20, 30 min) on the main quality indicators of fermented milk-plant protein concentrate was investigated using a full-factorial experiment by the Box-Wilson method. The obtained regression equations describe the dependence of the concentrate yield, active acidity, mass fraction of moisture, and moisture retention capacity on the variation of these three factors. It was found that the thermoacid deposition from 30 % of the suspension at a hydraulic module of 1:3 and self-pressing for 30 min provides a maximum yield of protein clot of about 36 %, a mass fraction of moisture of 28-41 %, and a moisture retention capacity of up to 88 % at pH 5.3-5.8.

The parameters of fermentation using Probat 222 starter were improved: inoculation at the level of 10 DCU ensures an increase in the number of lactic acid bacteria to 5-6 log CFU/g within 4-5 hours without excessive pH reduction (to 4.2-

4.3). The expediency of using acid-rennet coagulation with 30 % whey-plant suspension at the ratio of “milk : suspension” at the level of 4 : 1 i 7 : 3, which provide a concentrate yield of 22.8-24.7 %, moisture retention capacity of 73.8-76.2 %, homogeneous structure and balanced taste with a light nutty flavor.

The forms of moisture bonding in milk and plant concentrates were studied by thermal analysis (TGA, DTG, DTA). It was found that physicochemically bound moisture (temperature range 125-176 °C) prevails during acid-treacle coagulation. This provides increased water retention capacity and thermal stability of the structure, while free moisture (< 125 °C) dominates in thermoacid samples, which correlates with increased matrix plasticity. Rheological tests on a Kinexus Pro+ rheometer confirmed the pseudoplastic behavior of the systems and showed that the effective viscosity of the concentrate obtained by the acid-treated method was 70.0 Pa-s (36.8 % less than the milk-protein control), while in the concentrate obtained by the thermoacid method it was 22.0 Pa-s (2.4 times higher than the control sample) at a shear rate of $\gamma = 10.15 \text{ s}^{-1}$. Microstructural analysis by light microscopy demonstrated the formation of a dense framework matrix with globules with a diameter of 50-520 μm , micropores of 35-90 μm , and fat inclusions of 7.5-11.5 μm , which leads to high cohesion and resistance to mechanical stress.

The amino acid composition of the milk-plant concentrate with *Arachis hypogaea* kernels was studied and it was found that the total amino acid content in it decreased by 29 % compared to the milk-protein concentrate. At the same time, there was an increase in the essential amino acid utilization factor (U) from 0.739 to 0.754, the amino acid difference coefficient (ADC) from 0.739 to 0.754, and the biological value (BV) from 71.39 % to 73.71 %, indicating a more balanced amino acid profile due to the synergistic addition of the limiting amino acids methionine and cystine.

The quality of fermented dairy-plant products (glazed cheese curds and salted cheese paste) was comprehensively evaluated by organoleptic, physicochemical and microbiological parameters: pH 5.4 ± 0.2 ; moisture retention capacity 75 ± 3 %; microflora within the standards (lactic acid bacteria $\geq 10^6$

CFU/g, yeast ≤ 25 CFU/g, mold ≤ 15 CFU/g; absence of pathogenic microorganisms). It was proved that when stored at 4 ± 2 °C for 168 h (7 days), the pH decrease in products based on milk-plant concentrate is 31 % less than in those based on milk-protein concentrate, and the decrease in moisture retention capacity is 6.9 % versus 12.9 %, which ensures the stability of quality indicators during the guaranteed shelf life.

The technological scheme for the production of fermented milk-plant products was improved, including preliminary heat treatment of *Arachis hypogaea* kernels, optimization of the ratio of components and coagulation modes (thermoacid or acid-absorption). Industrial testing in the conditions of the dairy processing enterprise Sandora LLC confirmed the effectiveness of the developed modes, and the economic analysis showed a 3.22 % reduction in the cost of protein concentrate without additional investments. The obtained results substantiate the introduction of the technology as an innovative solution for the production of functional fermented dairy and vegetable products with increased biological value and economic efficiency.

Keywords: milk; peanut kernels (*Arachis hypogaea* L.); whey; protein; whey-plant suspension; milk-plant mixture; thermoacid coagulation; acid-rennet coagulation; starter; fermentation; optimization; organoleptic characteristics; physicochemical properties; effective viscosity, biological value; storage.

List of publications by the applicant on the dissertation topic

Publications in professional journals of Ukraine

1. Skuibida, V., Onopriichuk, O., Tymchuk, A., Soloviov, N., & Grek, O. (2022). Quality Indicators of Multicomponent Dairy-Vegetable Concentrates. *Ukrainian Food Journal*, 11 (2), 247-258. (Scientific professional publication of Ukraine, category A, indexed in Scopus, InfoBase Index, Chemical Abstracts Service Source Index, Food Science and Technology Abstracts, Emerging Sources Citation Index, etc.). DOI:10.24263/2304-974X-2022-11-2-5.
2. Onopriichuk, O., & Skuibida, V. (2024). Improvement of Fermented Dairy-Plant Concentrate Technology. *Ukrainian Journal of Food Science*, 12(2),

117-130. (*Scientific professional publication of Ukraine, category B, indexed in scientometric databases EBSCO, Google Scholar, Index Copernicus, Universal Impact Factor, Directory of Open Access Scholarly Resources, CAS Source Index.*). DOI: 10.24263/2310-1008-2024-12-2-4. (Personal contribution of Skuibida, V.V conducting and organizing of experimental studies, processing of the data obtained, preparation of the manuscript for publication; personal contribution of Onopriichuk O.O. for conducting literature analysis).

3. Savchenko, O., Grek, O., Skuibida, V., Onopriichuk, O., & Pshenychna, T. (2024). Optimisation of parameters for obtaining milk-plant concentrates. *Animal Science and Food Technology*, 16(1), 126-140. (*Scientific professional publication of Ukraine, category A, indexed in Scopus, Google Scholar, Index Copernicus, Scientific Indexing Services (SIS), Ulrichsweb, Research Papers in Economics (RePEc), MIAR, BASE, ResearchBib.*). DOI:10.31548/animal.1.2025.126.

Abstracts of reports and conference Materials

4. Skuibida, V.V., & Onopriichuk, O.O. (2021). Development of milk mixtures for fermented beverages. Scientific achievements of young people - solving the problems of human nutrition in the XXI century: materials of the 88th International Scientific Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students dedicated to the 135th anniversary of NUFT, April 15-16, 2022, Part 1, NUFT, 319.

5. Skuibida, V.V., & Onopriichuk, O.O. (2021). Study of the fermentation process of milk-plant mixtures. Scientific problems of food technology and industrial biotechnology in the context of European integration: program and abstracts of the IX International Scientific and Technical Conference, November 09-10, 2021, Kyiv, NUFT, 190-191.

6. Skuibida, V.V., & Onopriichuk, O.O. (2022). Study of quality indicators of fermented beverages with modified composition. Scientific achievements of young people - solving the problems of human nutrition in the

XXI century: materials of the 88th International Scientific Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students, April-May 2022, Part 1, NUFT, 256.

7. Skuibida, V.V., & Onopriichuk, O.O. (2022). Investigation of the state of moisture in plant concentrate. Proceedings of the IV International Scientific and Practical Conference “European Dimensions of Sustainable Development”, October 20-21, 2022, NUFT, 64.

8. Skuibida, V.V., & Onopriichuk, O.O. (2022). Development of multicomponent milk-plant concentrates. Scientific problems of food technology and industrial biotechnology in the context of European integration: Program and abstracts of the XI International Scientific and Technical Conference, November 8, 2022, Kyiv, NUFT, 216-217.

9. Skuibida, V.V., & Onopriichuk, O.O. (2023). Relevance of the production of craft dairy and vegetable products. Industry and craft for HoReCa in tourism: experience, problems, innovations: Program and materials of the International Scientific and Practical Conference, May 23-24, 2023, Kyiv, NUFT, 169-170.

10. Skuibida, V.V., & Onopriichuk, O.O. (2023). Features of the fermentation of beverages with combined raw materials. Modern trends and prospects in the field of meat and milk processing: Program and abstracts of the VI International Scientific and Technical Conference, September 21, 2023, Kyiv, NUPh, 98.

11. Skuibida, V.V., Onopriichuk, O.O., Grek, O.V., & Tymchuk, A.V. (2024). Method of production of cheese products. Dairy industry from producer to consumer: modern trends and benchmarks: program and materials of the All-Ukrainian scientific and practical conference, May 29, 2024, Kyiv, NUFT, 37.

12. Skuibida, Valeriia, & Onopriichuk, Olena. (2024). Relevance of the Development of Dairy and Vegetable Products. *90th International Scientific Conference of Young Scientists and Students "Youth Scientific Achievements to the 21st Century Nutrition Problem Solution"*, April 11–12, 2024. *Book of Abstracts. Part 1*, NUFT, Kyiv, 322.

13. Grek, O.V., Onopriichuk, O.O., Tymchuk, A.V., & Skuibida, V.V. (2024). Method of production of cheese products. Dairy industry from producer to consumer: modern trends and benchmarks: program and materials of the All-Ukrainian scientific and practical conference, May 29, 2024, Kyiv, NUFT, 37.

14. Skuibida, V.V., Onopriichuk, O.O., Grek, O.V., & Tymchuk, A.V. (2024). Method for the production of fermented beverage with a combined composition of raw materials. Dairy industry from producer to consumer: modern trends and benchmarks: program and materials of the All-Ukrainian scientific and practical conference, May 29, 2024, Kyiv, NUFT, 50.

15. Skuibida, Valeriia, & Onopriichuk, Olena. (2024). Prospects for the Use of Plant Raw Materials in the Technology of Dairy Products. *Dairy industry from producer to consumer: modern trends and benchmarks: program and materials of the All-Ukrainian scientific and practical conference, May 29, 2024, Kyiv, NUFT, 53.*

16. Skuibida, V.V., & Onopriichuk, O.O. (2024). Features of Production of Fermented Milk-Vegetable Concentrate. *Scientific problems of food technology and industrial biotechnology in the context of European integration: Program and abstracts of the XI International Scientific and Technical Conference, November 21, 2024, Kyiv, NUFT, 300-301.*

17. Skuibida, V., & Onopriichuk, O. (2025). Determination of the optimal ratio of skimmed milk and dairy-vegetable suspension in mixtures for precipitation. *Scientific achievements of young people - solving the problems of human nutrition in the XXI century: materials of the 91st International Scientific Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students, April 7-11, 2025, Part 1, NUPh, 254.*

Patents

18. Skuibida, V.V., Onopriichuk, O.O., Grek, O.V., & Tymchuk, A.V. (2022). *Method for the production of fermented beverage with a combined composition of raw materials.* Patent for utility model No. 152652 (UA). State Organization «Ukrainian National Office of Intellectual Property and Innovations».

ЗМІСТ

АНТОТАЦІЯ.....	1
ВСТУП	21
РОЗДІЛ I. СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВИРОБНИЦТВА МОЛОЧНО-РОСЛИННИХ ПРОДУКТІВ	29
1.1. Актуальність використання рослинної білоквмісної сировини при виробництві молочно-рослинних концентратів.....	29
1.2. Способи коагуляції молочних та рослинних білків.....	32
1.3. Рослинний аналог молока, як сировина для комбінованих продуктів	38
1.4. Аналіз існуючих технологій молочно-рослинних продуктів	45
1.5. Обґрунтування вибору рослинної білоквмісної сировини для поєднання з молочною основою.....	51
1.6. Сучасні методи попередньої обробки ядер плодів <i>Arachis hypogaea</i> .	58
Висновки до розділу I	61
РОЗДІЛ II. ОРГАНІЗАЦІЯ, МЕТОДОЛОГІЯ ТА МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	63
2.1. Організація і методологія роботи.....	63
2.2. Об'єкт та предмети досліджень	64
2.3. Матеріальна база	66
2.3.1. Сировина та матеріали.....	66
2.3.2. Контрольні та дослідні зразки	66
2.4. Методи експериментальних досліджень	68
2.4.1. Стандартні методи дослідження.....	68
2.4.2. Загальновідомі методи дослідження	69
2.4.3. Адаптовані методики дослідження	75
2.4.4. Математично-статистичне оброблення результатів.....	76

Висновки до розділу II.....	78
РОЗДІЛ III. РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОТРИМАННЯ СИРОВАТКОВО-РОСЛИННОЇ СУСПЕНЗІЇ З ЯДЕР ПЛОДІВ <i>ARACHIS HYPOGAEA</i>	79
3.1 Вплив обробки ядер плодів <i>Arachis hypogaea</i> на органолептичні показники сироватково-рослинної суспензії.....	79
3.2. Визначення раціональних параметрів отримання сироватково-рослинної суспензії.....	83
3.3. Оцінювання перетравлюваності сироватково-рослинної суспензії <i>in vitro</i>	89
Висновки до розділу III	94
РОЗДІЛ IV. ОБГРУНТУВАННЯ СПОСОБІВ ОТРИМАННЯ ФЕРМЕНТОВАНОГО МОЛОЧНО-РОСЛИННОГО БІЛКОВОГО КОНЦЕНТРАТУ	95
4.1. Оптимізація параметрів термокислотного осадження молочно-рослинних сумішей.....	95
4.2. Дослідження процесу ферментації молочно-рослинних концентратів отриманих методом термокислотного осадження.....	108
4.3 Уточнення технологічних параметрів кисло-сичужної коагуляції молочно-рослинних сумішей.....	112
4.4. Технологічні показники молочно-рослинних концентратів при варіативному вмісті сироватково-рослинної суспензії	118
Висновки до розділу IV	123
РОЗДІЛ V. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ВОЛОГИ, РЕОЛОГІЧНИХ ТА МІКРОСТРУКТУРНИХ ПОКАЗНИКІВ МОЛОЧНО-РОСЛИННИХ КОНЦЕНТРАТІВ	125

5.1. Дослідження стану вологи в молочно-рослинних концентратах методом дериватографії	125
5.2. Дослідження реологічних показників молочно-рослинних концентратів	133
5.3. Мікроструктурні особливості молочно-рослинних концентратів	138
Висновки до розділу V	141
РОЗДІЛ VI. КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФЕРМЕНТОВАНИХ МОЛОЧНО-РОСЛИННИХ ПРОДУКТІВ НА ОСНОВІ БІЛКОВИХ КОНЦЕНТРАТІВ.....	
6.1. Дослідження біологічної цінності молочно-рослинних концентратів ...	143
6.2. Удосконалення технології ферментованих молочно-рослинних продуктів	150
6.3. Вплив тривалості зберігання на показники якості та безпечності ферментованих молочно-рослинних продуктів.....	163
6.4. Промислова апробація та очікуваний соціально-економічний ефект від впровадження наукової розробки.....	169
Висновки до розділу VI	171
ВИСНОВКИ.....	173
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	176
ДОДАТКИ.....	202
ДОДАТОК А.....	203
ДОДАТОК Б	205
ДОДАТОК В.....	207
ДОДАТОК Г	212
ДОДАТОК Д.....	216
ДОДАТОК Е	218
ДОДАТОК Ж	223

ПРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

Скорочення	Розшифровка
МРС	молочно-рослинна суміш;
СРС	сироватково-рослинна суспензія;
АС	амінокислотний скор;
БЦ	біологічна цінність;
ВУЗ	вологоутримуюча здатність;
ЗАК	замінна амінокислота;
МБК	молочно-білковий концентрат;
МРК	молочно-рослинний концентрат;
НАК	незамінна амінокислота;
ПФЕ	повнофакторний експеримент;
РАС	різниця амінокислотного скору;
ФТВ	функціонально-технологічні властивості;
TGA	термогравіметричний аналіз;
DTG	диференціальна термогравіметрія;
DTA	диференціальний термічний аналіз;
DCU	одиниця активності закваски (Dairy Culture Units);
КУО/г	колонієутворюючі одиниці на грам.

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний розвиток молочної промисловості відзначається активним впровадженням технології багатокомпонентних продуктів із залученням нетрадиційної рослинної сировини для підвищення їх харчової та біологічної цінності. Коливання обсягів виробництва молока-сировини та зростання числа прихильників харчування обумовлюють попит на інноваційні ферментовані молочно-рослинні продукти з покращеними показниками якості та функціонально-технологічними властивостями.

Використання білоквмісної сировини, до якої відносяться бобові та горіхоплідні культури, дозволяє збалансувати амінокислотний профіль, збільшити частку повноцінного білка та суттєво підвищити біологічну цінність молочно-рослинних продуктів. Серед широкого спектра рослинної сировини особливо перспективними є ядра плодів *Arachis hypogaea*, які, крім високого вмісту білка, містять ненасичені жирні кислоти, вітаміни й антиоксиданти, а також відзначаються стабільною економічною доступністю на внутрішньому ринку України.

Коагуляція білків є ключовим етапом у формуванні структури молочно-рослинних білкових концентратів. Оптимізація режимів термокислотного та кислотно-сичужного способів сумісного осадження білків молока та арахісу є необхідною для забезпечення показників якості отриманих концентратів з нормованими значеннями фізико-хімічних та структурно-механічних властивостей. Додаткову перевагу забезпечує застосування молочної сироватки в якості дисперсійного середовища, яке завдяки вмісту біоактивних білків, мінералів і лактози сприяє підвищенню стабілізаційних властивостей сироватково-рослинної суспензії.

Попередня обробка ядер плодів *Arachis hypogaea* з метою зниження алергенності та вмісту антипоживних факторів (інгібіторів травних ферментів, фітинової кислоти) з одночасним збереженням функціональності білкової фракції є необхідним технологічним етапом, що визначає якість сировини. Впровадження ферментаційної модифікації концентратів дозволяє

поліпшити текстуру, біодоступність білків та мікробіологічну безпеку молочно-рослинних концентратів.

Отже, актуальність досліджень полягає в науковому обґрунтуванні комплексної технології ферментованих молочно-рослинних продуктів з обробленими ядрами плодів *Arachis hypogaea*, що охоплює оптимізацію параметрів попередньої підготовки арахісу, вибір дисперсійного середовища, режимів коагуляції та ферментації сумішей для отримання молочно-рослинних концентратів. Реалізація розроблених технологічних режимів сприятиме підвищенню біологічної цінності, органолептичних та функціонально-технологічних властивостей ферментованих молочно-рослинних продуктів, зниженню виробничих витрат та розширенню асортименту інноваційних продуктів харчування з підвищеним вмістом білку.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційні дослідження було здійснено в Національному університеті харчових технологій в межах науково-дослідних проєктів, що фінансувалися з державного бюджету. Робота проводилася на кафедрі технології молока і молочних продуктів Національного університету харчових технологій і охоплювала тематику проєктів «Формування якості та безпеки молочних і молоковмісних продуктів з натуральними компонентами» (реєстраційний номер 0117U004398) та «Удосконалення наявних і розробка новітніх ресурсоощадних технологій молочних продуктів з підвищеною харчовою цінністю» (реєстраційний номер 0120U103103).

Мета, об'єкт, предмет та завдання наукового дослідження.

Мета – розроблення технології ферментованих молочно-рослинних продуктів на основі білкових концентратів з ядрами плодів *Arachis hypogaea*, отриманих способами термокислотної або кислотно-сичужної коагуляції.

Відповідно до мети поставлено та вирішено ряд взаємопов'язаних завдань:

- ✓ аналітично обґрунтувати доцільність застосування ядер плодів *Arachis hypogaea* в технології ферментованих молочно-рослинних продуктів на основі білкових концентратів;
- ✓ визначити раціональні параметри підготовки ядер плодів *Arachis hypogaea* та режими отримання сироватково-рослинної суспензії з оцінкою їх впливу на перетравлюваність білків *in vitro*;
- ✓ оптимізувати технологічні режими виробництва молочно-рослинних концентратів способом термокислотного осадженням білків молочно-рослинної суміші;
- ✓ проаналізувати процес ферментації молочно-рослинних концентратів отриманих методами термокислотної або кислотно-сичужної коагуляції;
- ✓ дослідити функціонально-технологічні властивості молочно-рослинних концентратів, отриманих термокислотним або кислотно-сичужним способами за варіативного вмісту сироватково-рослинної суспензії;
- ✓ встановити вплив кількості внесення суспензії з ядер плодів *Arachis hypogaea* на стан вологи, реологічні та мікроструктурні показники молочно-рослинних концентратів, вироблених різними способами коагуляції;
- ✓ визначити зміну біологічної цінності молочно-рослинного концентрату з ядрами плодів *Arachis hypogaea* порівняно з молочно-білковим;
- ✓ обґрунтувати раціональні технологічні параметри технології ферментованих молочно-рослинних продуктів з обробленими ядрами плодів *Arachis hypogaea*, розробити принципову технологічну та апаратурно-технологічну схеми виробництва;
- ✓ провести комплексну оцінку якості ферментованих молочно-рослинних продуктів з обробленими ядрами плодів *Arachis hypogaea* під час гарантованого терміну зберігання;

✓ розробити проекти нормативних документацій на білкові молочно-рослинні концентрати та продукти на їх основі, провести промислову апробацію за розробленою технологією та визначити очікуваний економічний та соціальний ефекти від впровадження наукової розробки.

Об'єкт досліджень – технологія ферментованих молочно-рослинних продуктів на основі білкових концентратів, отриманих способами термокислотної або кислотно-сичужної коагуляції.

Предмети досліджень – молоко коров'яче; сироватка молочна підсирна; ядра плодів *Arachis hypogaea*; сироватково-рослинна суспензія; молочно-рослинна суміш; молочно-рослинні концентрати, отримані способами термокислотної або кислотно-сичужної коагуляції; показники якості ферментованих молочно-рослинних концентратів та ферментованих молочно-рослинних продуктів.

Методи досліджень. Для розроблення технології ферментованих молочно-рослинних продуктів та дослідження їх здатності до зберігання застосовували органолептичні, фізико-хімічні, технологічні, мікробіологічні та мікроструктурні методи аналізу. У процесі виконання дисертаційного дослідження використовувалися стандартні, загальноприйняті та адаптовані методи, що забезпечували досягнення поставлених цілей. Оптимізацію технологічних процесів проводили експериментально-статистичним методом Бокса- Уїльсона.

Наукова новизна одержаних результатів.

Вперше обґрунтовано доцільність використання ядер плодів *Arachis hypogaea*, враховуючи їх функціонально-технологічні властивості й біологічну цінність, в технології ферментованих молочно-рослинних продуктів та проаналізовано методи попереднього оброблення арахісу для зниження вмісту інгібіторів травних ферментів.

Доведено та підтверджено адекватними регресійними моделями, що попередня термічна обробка ядер плодів *Arachis hypogaea* за температури 120 °C протягом 30–35 хв підвищує біодоступність білків арахісу,

збільшуючи ступінь їх перетравлюваності *in vitro* у сироватково-рослинній суспензії на 40–45 %, про що свідчить зростання концентрації тирозину у фільтраті.

Розроблено математичні моделі, які описують вихід та фізико-хімічні властивості молочно-рослинних концентратів з обробленими ядрами плодів *Arachis hypogaea* (активна кислотність та вологоутримуюча здатність) під впливом керуючих технологічних факторів (вміст сироватково-рослинної суспензії, гідромодуль, тривалість самопресування); встановлено, що використання 30% сироватково-рослинної суспензії при гідромодулі 1 : 5 і самопресуванні 30 хв забезпечує оптимальний вихід концентрату близько 30 %, активну кислотність у межах рН $5,55 \pm 0,25$ та вологоутримуючу здатність на рівні 76 ± 2 %.

Вперше експериментально обґрунтовано раціональні технологічні параметри ферментації молочно-рослинних концентратів, отриманих методом термокислотного осадження, інокульованих заквасочним препаратом Probat 222 ТМ «DANISCO» (склад: *Lactococcus lactis* subsp. *lactis*; *Lactococcus lactis* subsp. *cremoris*; *Lactococcus diacetylactis*; *Leuconostoc mesenteroides* subsp. *cremoris*) в кількості 10 DCU за температури 36 ± 1 °C протягом 4–5 год, що забезпечує оптимальний розвиток мікрофлори на рівні 5–6 log КУО/г.

Вперше виявлено закономірність структуроутворення в молочно-рослинних концентратах з ядрами плодів *Arachis hypogaea*, залежно від способу коагуляції: за термокислотної – формуються щільні агрегати з домінуванням вільної вологи, тоді як за кислотно-сичужної – утворюється стабільна тривимірна матриця з високою здатністю до вологоутримання за підвищених температур, що корелюється зі значенням ефективної в'язкості 70,0 Па·с при $\gamma = 10,15 \text{ с}^{-1}$ та формуванням ущільненої каркасної структури з дрібнодисперсними глобулами, однорідним розподілом жирових включень і зменшеним об'ємом мікропор.

Вперше визначено амінокислотний склад ферментованих молочно-рослинних концентратів з обробленими ядрами плодів *Arachis hypogaea* та обчислено їх інтегральні показники: біологічна цінність зросла на 2,32 %, коефіцієнт утилітарності незамінних амінокислот підвищився на 2,03 %, а коефіцієнт надлишковості незамінних амінокислот знизився на 8,81 % порівняно з молочно-білковим концентратом, що свідчить про покращення амінокислотного профілю за рахунок синергічного доповнення лімітуючих амінокислот.

Практичне застосування одержаних результатів.

Практичне застосування одержаних результатів полягає в науковому підтвердженні ефективності використання ядер плодів *Arachis hypogaea* як функціонально-технологічного інгредієнта в технології ферментованих молочно-рослинних продуктів. Встановлено можливість часткової заміни молока на сироватково-рослинну суспензію, що дозволяє отримувати білкові концентрати з фізико-хімічними та органолептичними показниками, близькими до молочно-білкових. Визначені технологічні параметри, що забезпечують підвищену вологоутримуючу здатність і стабільну текстуру концентратів протягом усього гарантійного терміну зберігання. Раціоналізовані режими попередньої обробки ядер *Arachis hypogaea* сприяють формуванню однорідної структури сироватково-рослинної суспензії й підвищенню біодоступності білків. Удосконалена технологічна схема дозволяє отримувати молочно-рослинні концентрати з нормативними показниками якості, які можуть використовуватися як основа для виробництва нових ферментованих молочно-рослинних продуктів із заданими функціональними властивостями та підвищеною біологічною цінністю. Економічний аналіз підтвердив доцільність впровадження технології в промисловому масштабі завдяки зниженню виробничих витрат і розширенню асортименту інноваційних продуктів харчування. Розроблено та затверджено нормативні документи ТУ У 10.5-0207 0938-319:2023 «Концентрат білковий молочно-рослинний» та ТУ У 10.5-0207 0938-332:2024

«Вироби сиркові», апробація технології здійснена в умовах ТОВ «Сандора» (м. Вишневе, Київська обл.).

Особистий внесок здобувача. Особистий внесок здобувача включає в себе аналітичне опрацювання літературних джерел за тематикою дисертації, визначення мети та формулювання завдань дослідження, планування та проведення експериментальної роботи, обробку й систематизацію отриманих даних, підготовку наукових публікацій, а також апробацію розробленої технології на виробництві та її впровадження в навчальний процес.

Розробка плану дослідження, систематизація та інтерпретація результатів наукової праці, підготовка наукових статей і виробнича апробація запропонованої технології здійснювалися під керівництвом наукового керівника – доцента, кандидата технічних наук О.О. Онопрійчук.

Вивчення реологічних властивостей молочно-рослинних концентратів проводилося у співпраці із завідувачем Проблемної науково-дослідної лабораторії НУХТ, старшим науковим співробітником, к.т.н. А.І. Мариніним. Термографічні дослідження проводили в Інституті технічної теплофізики НАН України спільно з провідним науковим співробітником В.А. Михайликом. Дослідження амінокислотного складу виконані в Інституті продовольчих ресурсів НААН. Особистий внесок здобувача підтверджено опублікованими науковими працями та відповідними документами.

Апробація матеріалів дисертаційної роботи. Ключові аспекти та вагомі результати дисертаційного дослідження були оприлюднені та обговорені в рамках: 87-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» 2021р (м. Київ); X-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції», 9-10 листопада 2021 р. (м. Київ); XI Міжнародної науково-технічної конференції «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті євроінтеграції» 2022 р. (м. Київ); постерної сесії 88-

ої Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті» (м. Київ, квітень-травень 2022 р.); у матеріалах IV Міжнародної науково-практичної конференції «Європейські Виміри Сталого Розвитку», 20-21 жовтня 2022, НУХТ; Міжнародної науково-практичної конференції «Промисловість та крафт для HoReCa в туризмі: досвід, проблеми, інновації» 2023р. у м. Київ; VI Міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні тренди і перспективи в галузі переробки м'яса і молока» 21 вересня 2023р., (м. Київ); матеріалах Всеукраїнської науково-практичної конференції *«Молочна промисловість від виробника до споживача: сучасні тренди та орієнтири»*, травень 2024р., (м. Київ); програмі та тезах матеріалів XI Міжнародної науково-технічної конференції *«Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті євроінтеграції»*, листопад 2024 р., (м. Київ); 91-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів *«Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті»*, квітень 2025р, (м. Київ).

Публікації. За результатами наукової роботи опубліковано 18 наукових праць, з них 3 рецензовані статті у вітчизняних та міжнародних виданнях, зокрема 2 – у виданнях, що є індексованими наукометричною базою даних Scopus, 14 тез доповідей на міжнародних, всеукраїнських та науково-технічних конференціях, 1 патент на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Складається дисертаційна робота з анотації, змісту, переліку умовних позначень, вступу, 6-ти розділів, висновків, списку використаних джерел, що мають в складі 225 найменувань, 7 додатків. Робота містить 175 сторінок основного тексту, 22 рисунка та 17 таблиць.

РОЗДІЛ І. СТАН І ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВИРОБНИЦТВА МОЛОЧНО-РОСЛИННИХ ПРОДУКТІВ

1.1. Актуальність використання рослинної білоквмісної сировини при виробництві молочно-рослинних концентратів

Новітні напрями збільшення вибору молочно-білкових товарів орієнтовані на розробку збалансованої за харчовою та біологічною цінністю продукції. Виготовлення багатокomпонентних молочно-білкових продуктів здійснюється з використанням нетрадиційної сировини рослинного походження та різноманітних харчових добавок (Slyvka, Bilyk, Mikhailytska, & Nagovska, 2019). Існує значна кількість досліджень і розробок у сфері створення білкових продуктів, збагачених різноманітними поліфункціональними добавками та інгредієнтами. Серед них можна виокремити комплекси вітамінів, мінерали, пробіотичні мікроорганізми, поліненасичені жирні кислоти, амінокислоти, харчові волокна тощо. Зазначені компоненти не лише підвищують харчову цінність продуктів, але й істотно впливають на технологічні процеси, коригуючи їх та забезпечуючи оптимальні умови переробки й зберігання (Самілик, 2017; Новгородська, & Берник, 2022; Grek, Onopriichuk, Tymchuk, & Chubenko, 2017).

В останні роки помітна тенденція до зменшення поголів'я корів у фермерських господарствах, що призводить до скорочення обсягів молока-сировини. В такій ситуації логічним є нарощення виробництва і підвищення споживання молоковмісних продуктів (Місюк, & Місько, 2021).

Виробництво білкових продуктів із комбінованої молочно-рослинної сировини є перспективним напрямом досліджень, оскільки такі продукти вирізняються вищою біологічною цінністю та зниженою собівартістю.

Розробка та впровадження продуктів, у складі яких оптимізовано вміст незамінних нутрієнтів, здійснюються через ретельний добір та поєднання білків тваринного і рослинного походження. Особливу увагу привертає активне використання немолочного молока (Non-Dairy Milk), що обумовлено як індивідуальною непереносимістю лактози або молочного казеїну серед

значної частини споживачів, так і зростаючою популярністю вегетаріанського стилю харчування. Окрім цього, акцент робиться на фізіологічні переваги рослинного білка, які є особливо важливими в геродієтичному харчуванні, спрямованому на підтримку здоров'я людей похилого віку (Sethi, Tyagi, & Anurag, 2016; Mäkinen, Wänhalin, Zannini, & Arendt, 2015). Існують розробки рослинних альтернатив молока, створені на основі горіхів, бобових та зернових культур. Ці продукти вирізняються приємними смаковими та ароматичними властивостями, а також гармонійно поєднуються з традиційною молочною продукцією на рівні органолептичних характеристик (Gomes, Venâncio, Lima, & Freitas-Silva, 2021; Kundul, Dhankhar, & Sharma, 2018). У процесі осадження рослинного молока або його сумішей із коров'ячим молоком утворюються концентрати, серед яких особливо популярні соєві (Ndife, Imade, & James, 2021). Вищезазначена сировина виступає як потенційна альтернатива тваринному молоку, зокрема у розв'язанні питання дефіциту білка в раціоні населення. Продукти багатокomпонентного складу демонструють значні переваги для здоров'я, оскільки характеризуються зниженою калорійністю порівняно з їх традиційними аналогами. Окрім прямого використання у якості харчового продукту, рослинне молоко слугує сировинною базою для створення немолочних пробіотичних виробів та інших продуктів, що імітують традиційний асортимент молочної промисловості, таких як вершки, йогурти, сири, морозиво тощо. (Min, Bunt, Mason, & Hussain, 2018).

Рослинні білкові компоненти, зокрема бобові культури, зерна, горіхи та інші подібні інгредієнти, демонструють високий потенціал для впровадження в харчові системи. Це зумовлено їх багатим поживним складом (збалансованим амінокислотним профілем та доброю засвоюваністю), функціональними та технологічними перевагами, вигідною економічною складовою, а також приємними органолептичними характеристиками (Shen, 2021; Sá, Moreno, & Carciofi, 2020).

У виробництві комбінованих кисломолочних сирів застосовуються білки різного рослинного походження, що дає змогу скоротити використання молочного білка та оптимізувати поживну цінність продукту. Серед рослинних білків найглибше вивченими є білкові концентрати з гороху та сої. Зокрема, соєвий білок широко використовується завдяки своїй здатності покращувати текстурні властивості харчових продуктів (Messina, & Messina, 2024).

У дослідженні Mironova (2020) аналізувалося використання льону у формі борошна і насіння в технології виробництва м'яких сирів. Виявлено, що додавання насіння льону позитивно впливає на продукт: подрібнення знижує вміст поліненасичених жирних кислот, а збагачення функціональними властивостями робить сир кориснішим. Технічні аспекти процесу дозволили оптимізувати витрати матеріалів, збільшити вихід готового продукту та скоротити тривалість виробництва. Інші науковці також досліджували вплив борошна кіноа на органолептичні, фізико-хімічні та мікробіологічні параметри свіжого м'якого адигейського сиру. Результати показали, що оптимальним співвідношенням для виробництва такого сиру є додавання кіноа у кількості 5 %. Це дозволяє отримати продукт із підвищеною біологічною та харчовою цінністю (Болгова, Опімах, & Соколенко, 2023).

Було також удосконалено технологію сиру Petit-suisse шляхом введення до складу мигдалю, що підвищило як його біологічну, так і енергетичну цінність. Доведено, що комбінація вершкового сиру з подрібненим мигдалем забезпечує унікальний смак і текстуру, які приваблюють широку аудиторію споживачів із різними смаковими вподобаннями. Це також сприяє розширенню ринку збуту вершкового сиру (Скульська, Цісарик, & Гуменецький, 2023).

Дослідники (Omranі Khiabaniаn, Motamedzadegan, Naghizadeh Raisi, & Alimi, 2020) вивчали вплив різних сумішей концентрату молочного білка та ізоляту горохового білка у виробництві сиру типу фета. Результати свідчать,

що зміна концентрації ізоляту горохового білка впливає на характеристики сиру завдяки різному загальному вмісту сухих речовин. Збільшення частки молочного білка сприяло утворенню більш розгалуженої білкової структури, покращенню текстури і зменшенню втрат у готовому продукті. Водночас органолептичні властивості сиру погіршувалися зі збільшенням концентрації ізоляту горохового білка.

Досліджено та проаналізовано вплив додавання насіння та харчових волокон льону до складу м'якого сиру на основі козиного молока. З'ясовано, що така рослинна добавка сприяє підвищенню поживної цінності продукту завдяки збагаченню його незамінними амінокислотами, поліненасиченими жирними кислотами (омега-3 та омега-6), вітамінами, мінералами та харчовими волокнами. Удосконалена технологія забезпечує покращення споживчих властивостей продукту, розширює асортимент м'яких сирів та створює можливості для отримання функціональних, дієтичних та профілактичних переваг (Овсієнко, 2019).

Останнім часом зростає зацікавленість у молочно-рослинних продуктах, що пов'язано з підвищенням популярності серед людей, які повністю виключають продукти тваринного походження, таких як вегани чи сиріїди, або тимчасово утримуються від них під час постів. Також значна частина споживачів висловлює занепокоєння щодо етичності виробництва звичайного молока, враховуючи умови утримання тварин, використання добавок та антибіотиків. Додатково є категорія людей, які вимушені відмовитися від традиційного молока через медичні рекомендації або міркування здоров'я (Ларіна та Файвішенко, 2022).

1.2. Способи коагуляції молочних та рослинних білків

Згортання молока відіграє ключову роль у технологічному процесі виробництва ферментованих молочно-рослинних продуктів. Цей процес базується на коагуляції білків під впливом різноманітних чинників, зокрема протеолітичних ферментів, солей, спиртів, кислот або високої температури (Rybak, 2014).

Існує кілька методів коагуляції молочних білків, таких як кислотний, кисло-сичужний, сичужний, термокислотний та термокальцієвий. Найбільш популярними серед них є кислотний і сичужний способи, які широко застосовуються у виробництві кисломолочних продуктів (Bittante, Penasa, & Cecchinato, 2012). Дослідники (Калмикова, 2013; Dabiga & Sion, 2012) зазначають, що виготовлення білкових продуктів за допомогою кислотної коагуляції білків є усталеною та поширеною практикою у харчовій промисловості, хоча сама процедура залишається досить тривалою.

Термокислотна коагуляція молока здавна застосовується у процесі виробництва сиру, і цей метод є основою виготовлення таких відомих сирів, як Панір, Кесо Бланко, Рікотта та Мізітра. В Україні найпоширенішим представником цієї групи є Адигейський сир. Виробничий процес термокислотних сирів характеризується економічністю, оскільки передбачає використання сироватки, побічного продукту, який залишається після виготовлення сичужних та кисломолочних сирів. Крім того, даний метод коагуляції забезпечує ефективне вилучення молочних білків, дозволяючи максимально використовувати складники сировини шляхом осадження як казеїнових, так і сироваткових білків. Це підтверджують сучасні дослідження (Шугай, 2023).

Продукти молочно-білкового походження, отримані методом термокислотної коагуляції, відзначаються високою харчовою та біологічною цінністю завдяки сироватковим білкам. Ці білки містять сірковмісні амінокислоти, такі як метіонін і цистеїн, а також незамінні амінокислоти, що найчастіше є дефіцитними в раціоні - лізин та триптофан (Qian et al., 2017).

Механізм термокислотної коагуляції полягає у комплексному впливі високих температур і кислих середовищ на білки молока, що призводить до осадження казеїну разом із сироватковими білками. Ефективність утилізації білків при такому підході досягає 96 %, тоді як при кислотній коагуляції цей показник складає приблизно 85 %, а при сичужній — близько 80 % (Grek, Onopriichuk, & Pshenychna, 2017). Ключову роль у формуванні білкової

структури термокислотних згустків відіграють сироваткові білки. Підвищена температура спричиняє денатурацію β -лактоглобуліну та стимулює його взаємодію з κ -казеїном та іншими денатурованими протеїнами сироватки. У результаті коагульовані й агреговані білки утворюють великі протеїнові комплекси. На ці взаємодії впливають кілька факторів, зокрема кислотність середовища, температура та тривалість нагрівання, а також загальна концентрація білків. Проте найважливішим чинником залишається температура, адже саме під її впливом відбувається інтеграція сироваткових білків у структурну матрицю сиру (Wusigale, & Luo, 2020; Hanusova, Mihulova, Diblikova, & Curda, 2014).

У термокислотному процесі коагуляція активізується завдяки кільком додатковим чинникам. По-перше, зміщення ізoeлектричної точки комплексу «казеїнова міцела – сироваткові білки» сприяє тому, що згортання розпочинається за вищого значення рН. Після осадження денатурованих сироваткових білків ізoeлектрична точка міцел змінюється з $\text{pH} \approx 4,7$ до $\text{pH} \approx 5,2$. Водночас у процесі нагрівання молока до 90 ± 5 °C коагуляція відбувається під дією кислотоутворювального компонента, який забезпечує кислотність середовища на рівні $\text{pH} \approx 6$. По-друге, підвищення температури з 70 °C до 95 °C сприяє збільшенню кінетичної енергії хаотичного руху частинок, тим самим підвищуючи ефективність їх взаємодії та ймовірність злипання. Це явище обумовлено прямою пропорційністю середньої енергії теплового руху до абсолютної температури. По-третє, нагрівання до 90 ± 5 °C призводить до значного зменшення в'язкості середовища, що забезпечує прискорене переміщення частинок і стимулює процес коагуляції. По-четверте, за підвищених температур, через збільшення енергії та пришвидшення руху частинок, відбувається зменшення товщини подвійного електричного шару, який відіграє роль у забезпеченні колоїдної стабільності міцел. Цей механізм додатково сприяє інтенсивному згортанню (Nayik et al., 2024; Савченко, Грек, & Красуля, 2015).

Термокислотний метод у технології молокопереробної промисловості, попри його численні переваги, поки не здобув широкого впровадження. Зокрема, цей метод дозволяє істотно скоротити тривалість технологічного процесу, підвищити вихід готового продукту, мінімізувати втрати білкових компонентів, а також розширити асортимент сировини для переробки. Утім, якісні характеристики сиру, отриманого за допомогою термокислотної коагуляції білків, залежать не лише від параметрів технологічного процесу, але й від низки інших факторів, таких як температура коагуляції, тривалість витримки згустку у сироватці та склад незбираного молока (Назаренко та Малиновська, 2017; Баль-Прилипко & Савченко, 2012).

Кислотна коагуляція казеїну наразі широко застосовується у виробництві кисломолочних напоїв, сирів, сметани та різноманітних сиркових виробів. Даний процес може бути зумовлений дією ферментативного молочнокислого бродіння або впливом хімічних агентів, зокрема додаванням кислоти до молока (Chinprahast, Subhimaros і Pattorn, 2015). За оптимальних умов сквашування, коли температура молока перевищує 15–20 °C, казеїн здатний значно змінювати свої кислотнo-основні властивості. Суть кислотного методу полягає у коагуляції білків молока в ізоелектричній точці казеїну (pH 4.6) через поступове утворення кислот бактерією або додавання хімічної кислоти до молока. Однак ензими, які беруть участь у дозріванні сичужних сирів, за низьких значень pH кислих сирів залишаються неактивними (Li і Zhao, 2019). У кисломолочних сирах трансформація білків та ліпідів менш інтенсивна порівняно із сичужними сирами, через що їхній смак є менш вираженим. Коагуляція білків у даному випадку відбувається в межах pH 5.1–5.4 (відповідає ізоелектричній точці параказеїну). Важливим аспектом є використання молокозсідальних ензимів, які значно прискорюють ферментацію, зміцнюють згусток та сприяють ефективнішому виділенню сироватки. Однак під час кислотнo-сичужної коагуляції молока при таких умовах відбуваються істотні зміни структури міцел казеїну. Це призводить до формування згустку із суттєво відмінною

текстурою порівняно зі структурою сирів, отриманих виключно сичужним методом (Senchenkova і Borovskaya, 2021).

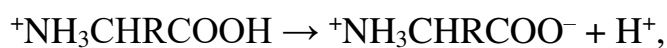
У наукових публікаціях описані дві основні теорії ферментативної коагуляції казеїну: фосфоамідазна та гідролітична (Osintsev, Gromov, & Braginsky, 2013). В основі фосфоамідазної теорії лежить механізм, що складається з двох стадій. На першій стадії відбувається розрив фосфоамідного зв'язку між залишками фосфорної кислоти та казеїновою молекулою. Це супроводжується вивільненням лужних гуанідинових груп аргініну, а також гідроксильних груп фосфорної кислоти. Під час другої стадії гідроксильні групи фосфорної кислоти зв'язуються з іонами кальцію, формуючи так звані "кальцієві містки" між міцелами параказеїну, що призводить до утворення коагульованого згустку. Гідролітична теорія також включає два етапи. На першому етапі під впливом специфічного ферменту, який стимулює згортання молока, відбувається розщеплення пептидного ланцюга α -казеїну. У результаті цього процесу від міцели казеїну відокремлюється розчинний пептид, що містить у своєму складі глікомакропептид. На другій стадії дестабілізовані міцели параказеїну взаємодіють між собою через гідрофобні сили неполярних груп (пара- α -казеїну) та електростатичні взаємодії між позитивно зарядженими ділянками пара- α -казеїну й негативно зарядженими площинами α - та β -казеїнів (Troch et al., 2017; Обозна та ін., 2016; Veux et al., 2017).

Інші науковці (Amaro-Hernández et al., 2021) пропонують власну концепцію процесу коагуляції казеїну та описують механізм дії молокозсідального ферменту наступним чином. На першому етапі, що має ферментативний характер, відбувається гідроліз поліпептидного ланцюга κ -казеїну, внаслідок чого утворюються пара- κ -казеїн і глікомакропептид. Пара- κ -казеїн залишається компонентом міцел, тоді як глікомакропептид відділяється і переходить до сироватки. На цьому етапі процес коагуляції ще не відбувається. Другий етап, відомий як коагуляційний, супроводжується тим, що гідроксильні групи фосфорної кислоти взаємодіють з кальцієвими

іонами та колоїдним фосфатом кальцію, формуючи "містки" між міцелами параказеїну. Це призводить до утворення згустку. У сформованому згустку безперервно діють взаємодії білкових частинок, що спричиняють його стискання і виділення сироватки — явище, відоме як синерезис (Gutiérrez-Méndez, Rios-Velasco, & Sepulveda, 2021).

У зв'язку з інтенсивним використанням рослинної сировини у виробництві ферментованих молочно-рослинних продуктів, постає необхідність розширення наукових досліджень, спрямованих на глибше розуміння механізмів коагуляції білків немолочного походження. Детальне вивчення фізико-хімічних характеристик процесів осадження білкових компонентів рослинного походження є важливим для вдосконалення технологічних параметрів, забезпечення стабільності білкових структур і створення продуктів з оптимальними структурно-механічними властивостями.

У процесі коагуляції соєвого молока утворення гелевої структури відбувається завдяки агрегації білкових молекул під впливом коагулянтів (Agrahar-Murugkar, 2015). Ефективність осадження білків із розчину визначається численними чинниками, серед яких ключову роль відіграє рівень рН. Максимальний ступінь осадження зазвичай досягається при значенні рН, що відповідає ізoeлектричній точці білка, яка становить приблизно 5,5 (Cao et al., 2017; Hsiao, Yu, Li, & Hsieh, 2015; Chen et al., 2017). Ізоелектрична точка залежить від співвідношення карбоксильних і аміногруп у молекулі. Зміни ступеня іонізації функціональних груп при коливаннях рівня рН середовища спричиняють осадження білків із розчину. Співвідношення іонів у системі залежить від ступеня іонізації цих груп та рівня рН середовища (Zhang et al., 2018), що може бути математично описано через відповідні рівняння:



Для осадження соєвого білка запропоновано додавати кристалічну

кухонну сіль або її водний розчин до профільтрованого соєвого молока. Після цього соєве молоко слід підігріти до температурного діапазону 85–110 °C, а потім внести коагулянт до досягнення ізоелектричної точки білка, яка знаходиться у межах pH 5,5–5,6 (Verfaillie, Royen, Janssen, & Wouters, 2022). Як коагулянти успішно зарекомендували себе розчини слабких органічних кислот, зокрема оцтової, лимонної, молочної кислот або їх комбінацій. У результаті вказаного технологічного процесу утворюється молочно-рослинний згусток зі структурою, що нагадує сир моцарела (Радзієвська, & Мельник, 2024).

Одним із найважливіших етапів у процесі виробництва тофу є коагуляція, при якій ключове значення має вибір відповідного коагулянту. Коагулянти для виготовлення тофу зазвичай поділяють на три основні категорії: органічні кислоти (зокрема, лимонна, молочна, винна, яблучна та глюконова), солі (хлорид кальцію, ацетат кальцію, лактат кальцію, сульфат магнію, цитрат тримагнію) та ферменти (хімозин-пепсин, папаїн, мікробна трансглютаміназа та інші). Кожна з цих груп характеризується специфічним механізмом коагуляції (Jin et al., 2020).

Результати аналізу літературних джерел показують, що інформація щодо процесів спільної коагуляції молочних і рослинних білків залишається обмеженою.

1.3. Рослинний аналог молока, як сировина для комбінованих продуктів

Зростаюча зацікавленість споживачів у рослинних заміниках молочних продуктів тваринного походження сприяє збільшенню обсягів виробництва таких рослинних альтернатив (Патика, 2019; Гаваза, 2015). Глобальні тенденції переходу від коров'ячого молока до рослинних заміників обумовлюються не лише дефіцитом молока тваринного походження, але й індивідуальною непереносимістю білка чи лактози серед певних груп населення, включаючи дітей. Крім того, важливим чинником зміни споживчих пріоритетів на користь рослинного молока є впровадження

сучасних принципів здорового харчування, які акцентують на його перевагах як продукту, що є більш корисним для здоров'я та екологічно сприятливим порівняно з традиційним молоком тваринного походження (Борисенко, & Романенко, 2020).

Основними чинниками, які стимулюють споживачів обирати харчові продукти рослинного походження, є етичне ставлення до тварин, прагнення покращити стан здоров'я, а також занепокоєння щодо негативного впливу виробництва м'ясо-молочних продуктів на навколишнє середовище (Пешук, Горбач, & Бахмач, 2017). Водночас для частини споживачів важливим залишається економічний аспект, зокрема вартість таких продуктів. Не менш суттєвим є питання безпеки харчових продуктів і занепокоєння щодо недостовірності маркування продукції тваринного походження. Лише незначний сегмент споживачів обирає рослинне харчування як альтернативу традиційним продуктам. Це тенденційно найбільш актуально для осіб із певними проблемами зі здоров'ям, які, однак, не готові повністю відмовитися від звичного раціону. Таким чином, з часом сформувався і продовжує еволюціонувати специфічний сегмент споживачів альтернативного молока. До нього належать фінансово забезпечені люди, зацікавлені в експериментуванні з нестандартними продуктами, прихильники здорового харчування, а також активісти – захисники прав тварин та прибічники екологічної свідомості (Alexandridis, Kleisiari, & Vlontzos, 2024). Альтернативне молоко являє собою напій, отриманий шляхом подрібнення рослинної сировини, змішування її з водою та подальшої гомогенізації отриманої суміші. У процесі гомогенізації забезпечується рівномірний розподіл частинок у межах розміру 20 мкм. Готовий продукт за зовнішніми характеристиками і консистенцією наближається до коров'ячого молока (Мотузка, & Кошельник, 2019).

У багатьох країнах світу споживачі, які обирають здоровий спосіб життя, здебільшого віддають перевагу рослинним альтернативам молока. (рис. 2).

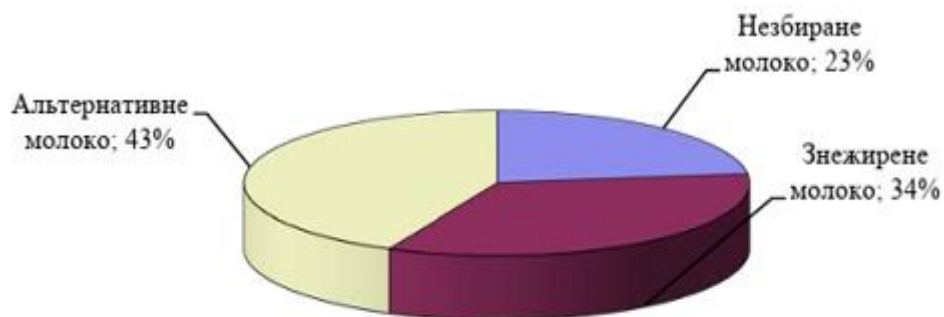


Рисунок 1.1 – Вподобання споживачів під час вибору молока, %

Актуальність і цінність виробництва та реалізації рослинного молока визначається здатністю задовольнити потреби цільової аудиторії споживачів продукцією національного виробництва. Наразі сегмент альтернативних видів молока переважно заповнений імпортними товарами, які мають тривалий термін зберігання (до 12 місяців при температурі від 0 до 25 °C) і містять добавки. Варто зазначити, що щороку європейський ринок рослинних напоїв демонструє зростання на 14,5 %, що свідчить про високі темпи розвитку цього сегмента. Водночас структура споживання серед українців активно змінюється, а продукція вітчизняних виробників у цьому сегменті має значну цінову перевагу порівняно з імпортними аналогами (Онегіна, Антощенкова, & Кравченко, 2022). Окрім того, наша країна має потужну сировинну базу, яка сприяє виробництву конкурентоспроможного органічного рослинного молока та продуктів на його основі (Роль та ін., 2021; Одінцов та ін., 2024). Як приклад можна навести випуск молока із волоського горіха, яке вирізняється низькою собівартістю та доступністю на національному сировинному ринку завдяки традиційному вирощуванню цих культур в Україні (Legeza, Brunner, Kerimova, Kulish, & Konovalenko, 2019). Існує багато видів рослинної сировини, з якої виготовляють альтернативне молоко.

Для виготовлення рослинного молока застосовують зернові культури, олійні рослини, горіхи, бульбоплоди та фрукти. У наукових працях (Lopes et al., 2020; Seong et al., 2022; Souza et al., 2020; Мотузка, & Кошельник, 2019) наведена загальна класифікація напоїв на основі:

- зернових (вівсяне, рисове, кукурудзяне молоко та молоко зі спельти);
- бобових (молоко з арахісу, соєве молоко, люпину, вігні (китайської спаржевої квасолі));
- горіхів (кокосове, мигдалеве, фісташкове молоко, молоко з фундука та волоського горіха);
- насіння (кунжутне молоко, з насіння соняшнику, конопель, льону тощо);
- псевдозлаків (молоко з амаранту, кіноа, тефу). (Sethi, Tyagi, & Anurag, 2016).

Рослинні молочні напої є природним джерелом жирних кислот, вітамінів, мінералів та інших корисних речовин. Кожен тип рослинного молока має свої особливості, зокрема щодо органолептичних властивостей і сумісності з іншими продуктами.

Вівсяне молоко вирізняється солодкуватим вершковим смаком. Воно багате на білок і клітковину, не містить добавок, проте має вищий рівень вуглеводів у порівнянні з іншими заміниками молока. Мигдальне молоко має ніжний солодкуватий смак, позбавлене насичених жирів, низькокалорійне і багате на амінокислоти, антиоксиданти, вітаміни А, С, групи В, а також мікроелементи, такі як кальцій, цинк, калій, фосфор і марганець. Крім того, 200 см³ мигдального молока забезпечують добову норму вітаміну Е. (Д'яконова, & Степанова, 2016). Однак через невелику кількість вирощуваного мигдалю на території України, вітчизняні виробники здебільшого використовують більш доступну сировину — овес та гречку. Для цього наявна достатня сировинна база, сучасні технології та відповідне обладнання. Одним із найбільших виробників рослинного молока на українському ринку є компанія «Люстдорф», яка у 2018 році запустила нову торгову марку «Ідеаль Немолоко», пропонуючи споживачам рослинну альтернативу традиційному молоку. (Степанчук, & Єфісько, 2018; С. Тивончук, Я. Тивончук, & Павлоцька, (2017).

Численні наукові дослідження спрямовані на вивчення соєвого молока

(Dekhtyarenko & Dugan, 2011), що пояснюється високою харчовою цінністю соєвих бобів. Вони містять від 35 до 52 % повноцінного білка, від 17 до 27 % високоякісних рослинних олій з оптимальним жирнокислотним складом, від 18 до 25 % різноманітних вуглеводів, а також незамінні вітаміни. Завдяки цим властивостям соєве молоко розглядається як альтернатива коров'ячому молоку (Al-Saedi, Agarwal, Ma, Islam, & Ren, 2020).

Розроблено методологію виробництва соєвого молока із застосуванням інноваційного компоненту, що має на меті підвищення його поживної та біологічної цінності, поліпшення органолептичних характеристик, збільшення седиментаційної стабільності та зниження рівня інгібіторів трипсину. Введення в процес насіння льону сприяє пришвидшенню виходу розчиненого повітря із продукту, цілеспрямованій трансформації ароматичних компонентів і комплексуванню сполук, які зумовлюють терпкий бобовий присмак. Це призводить до покращення споживчих якостей напою (Шаповаленко, Янюк, Євтушенко, Ганзенко & Козюля, 2013).

Було вивчено аспекти приготування та ферментації соєвого молока за участі бактерій роду *Lactococcus lactis*. У дослідженні (Дехтяренко & Дуган, 2011) представлено оптимізовану технологію попередньої обробки соєвого борошна для його подальшого використання як бази для живильних ферментаційних середовищ. Найефективнішим виявився метод короткочасної високотемпературної обробки соєвого борошна.

Одним із видів рослинного молока, що набуває дедалі більшої популярності, є конопляне молоко. Його виготовляють із насіння технічних сортів конопель, які не містять психоактивних речовин. Технологічний процес виробництва включає попереднє замочування та подрібнення насіння у воді, що дозволяє отримати однорідний напій. Конопляне молоко характеризується горіховим смаком, кремовою текстурою та має дещо сіруватий відтінок. Воно не містить цукру, холестерину чи глютену, але водночас є багатим джерелом корисних речовин, таких як жирні кислоти омега-3 та омега-6, вітаміни й мінерали. Серед вітамінів варто відзначити

вітаміни групи В (4,33 мг/100 г), вітамін А (2,1 мг/100 г) та вітамін Е (0,42 мг/100 г). Мінеральний склад напою включає високий вміст калію (982–1265,8 мг/100 г), магнію (121–170,8 мг/100 г), фосфору (212–639,8 мг/100 г), цинку (5,96 мг/100 г) та заліза (0,09 мг/100 г) (Besir, Awad, Mortas, & Yazici, 2022).

Серед основних переваг цього напою для здоров'я виділяють його здатність знижувати рівень холестерину в крові, зміцнювати серцевий м'яз та покращувати роботу імунної системи (Мерзлов та ін., 2021). Завдяки різноманітним методам екстракції та обробки, рослинну сировину можна перетворити на рослинне молоко, яке згодом використовується для виготовлення йогуртів та білкових продуктів через ферментацію (Munekata et al., 2020; Aydar, Tutuncu, Ozcelik, 2020). Для виробництва альтернативного молока важливо вибрати сировину з відповідними смаковими та поживними властивостями. Процеси екстракції суттєво впливають на склад сировини, що в подальшому визначає її властивості під час розробки продукту (Cui, 2023).

Завдяки своїм поживним властивостям рослинне молоко може бути використане як інгредієнт у приготуванні смузі, десертів та інших страв (Дейниченко, Золотухіна, & Сефіханова, 2017; Рогова, Чоні, & Положишникова, 2024). Рослинне молоко є натуральним продуктом без консервантів, що обумовлює обмежений термін зберігання напоїв на його основі до п'яти діб. Для подовження терміну зберігання застосовуються різні методи, такі як зневоднення (David, 2014; Elsamania, & Ahmed, 2016).

Розробка альтернативних молочних продуктів на основі арахісу набуває популярності завдяки зростаючому попиту на рослинні функціональні харчові продукти. Дослідження підтверджують, що арахісове молоко відрізняється високою поживною цінністю та корисними властивостями, що робить його перспективним замінником традиційної молочної продукції. Вчені (Sakthi, Meenakshi, Kanchana & Vellaikumar, 2020) дослідили фізико-хімічні характеристики, поживні властивості та сенсорну прийнятність такого молока. Результати їх роботи засвідчили, що арахісове

молоко має гармонійний баланс білків, жирів і вуглеводів, а також значний вміст ненасичених жирних кислот, зокрема олеїнової та лінолевої. Завдяки цьому воно вирізняється сприятливим поживним складом і високим рівнем сенсорного сприйняття.

Інші наукові праці (Савчук & Усатюк, 2017; Sh. Singh, S. Singh & Dubey, 2018) акцентують увагу на значному потенціалі арахісового молока у забезпеченні функціональних переваг для здоров'я. Різноманітні методи його обробки, такі як автоклавування, обсмажування та ферментативний гідроліз, широко досліджувалися у численних експериментах. Застосування цих технологій не лише підвищує фізико-хімічну стабільність арахісового молока, але й покращує його емульгуючі властивості та здатність білків до розчинення. Дослідження, проведене рядом науковців (Albuquerque, Almeida, Gomes, Alves & Silva 2015), засвідчило, що методи бланшування під тиском у поєднанні з ферментативним гідролізом значно покращують антиоксидантну активність арахісового молока, зберігають його органолептичні властивості та знижують небажані гіркуваті нотки, роблячи продукт більш привабливим для споживачів.

Ферментація суміші коров'ячого молока та арахісового молока у пропорціях 1:1, 2:1 і 3:1 за участі культури *L. rhamnosus* Yoba демонструє позитивний вплив на поживні та функціональні характеристики напою. У результаті створюється пробіотичний напій з вираженою антиоксидантною активністю та високим вмістом незамінних амінокислот. Як зазначають дослідження (Chawafambira, Jombo, & Mkungunugwa, 2022), такі ферментовані альтернативи рослинного походження можуть бути ефективним вибором для споживачів, які дбають про здоров'я, особливо в регіонах зі зниженим рівнем споживання традиційних молочних продуктів. Це сприяє розширенню знань про ферментовані рослинні напої, підкреслюючи перспективність використання бобових культур, таких як горох і арахіс, у створенні поживних і функціональних замінників молока (Deziderio, de Souza, Kamimura, & Petrus, 2023).

Наукові дослідження акцентують увагу на значному потенціалі арахісового молока як функціонального харчового продукту. Висока поживна цінність у поєднанні з сучасними технологіями переробки та збагачення дозволяє розглядати арахісове молоко як стійку та корисну альтернативу традиційним молочним виробам. Разом із цим залишаються актуальними питання вдосконалення виробничих методів і розширення його використання у сфері молочної промисловості.

1.4. Аналіз існуючих технологій молочно-рослинних продуктів

Останнім часом зросла кількість людей із лактазною непереносимістю та алергією на молоко, які змушені переходити на безлактозні продукти або повністю виключати молочні білки зі свого раціону, замінюючи їх рослинними аналогами (Reyes-Jurado et al., 2021). У зв'язку з цим асортимент харчових продуктів у світі активно поповнюється товарами, орієнтованими на особливі групи споживачів, зокрема альтернативною молочною продукцією. Така тенденція до збільшення споживання молочно-рослинних продуктів простежується і в Україні. Водночас українські споживачі часто зазначають, що ринок недостатньо наповнений продуктами рослинного походження, і більшість представлених товарів є закордонного виробництва. Це породжує потребу у збільшенні пропозиції молочно-рослинної продукції вітчизняного виробництва, що робить дослідження цього сегмента ринку актуальним (Корман, Лементовська, & Семенда, 2022; Козак, & Грищенко, 2022).

Аналіз наукових публікацій і патентний пошук засвідчують наявність широкого спектра досліджень як вітчизняних, так і закордонних науковців, присвячених створенню молочних продуктів із застосуванням рослинної сировини, що передбачає часткову або повну заміну компонентів молочного походження. Доцільність інтеграції рослинних білків у виробництво аналогів сирних продуктів була предметом ґрунтовного дослідження таких науковців, як Насирова Г.Ф., Данчук Ю.І., Ромоданова В.О., Granato D., Jeong H.-J., Lee Y.-K та інших (Назаренко, Шмідт, Болгова, & Синенко, 2023). У межах цих

досліджень використовуються білкові компоненти з різних бобових і зернових культур, зокрема сої, нуту, гороху, рису, льону та конопель. Основною метою таких досліджень є пошук інноваційних інгредієнтів, здатних зменшити залежність від молочного білка, а також забезпечити збалансованість харчової і біологічної цінності готових продуктів.

Сучасні виробничі технології з виготовлення молочно-рослинних концентратів базуються на використанні плодово-ягідних коагулянтів для осадження білкових сполук. Впровадження органічних кислот, отриманих із плодово-ягідної сировини, сприяє формуванню білково-міцелярних комплексів із покращеними функціонально-технологічними характеристиками. Такий підхід не лише сприяє підвищенню якості готового продукту, але й збагачує його біологічну цінність завдяки природному вмісту вітамінів та антиоксидантів, що містяться в рослинних коагулянтах (Gnitsevych, Yudina, & Deinychenko, 2017; Grek, Pshenychna, Tymchuk, Savchenko, & Ochkolyas, 2020).

Одним із перспективних напрямів у харчовій промисловості є створення високобілкових ферментованих напоїв на основі рослинних інгредієнтів. Застосування таких джерел білка, як нут і лляний білок, у поєднанні з ферментаційними процесами дає змогу отримувати продукти з високим рівнем біологічної цінності. Такі напої характеризуються покращеними органолептичними властивостями та підвищеною засвоюваністю білка. Запропонована технологія сприяє виробництву альтернативних продуктів, що підходять як для споживачів із непереносимістю лактози, так і для тих, хто дотримується рослинної дієти (Novik, Lapytska, Lystopad, Boychenko, & Savchenko, 2022).

Розроблено технологію виробництва йогурту резервуарним методом із використанням соєвого молока. Ця технологія, хоча й в основному аналогічна класичній, має специфічну особливість – коров'яче молоко замінюється на рослинне. Для підготовки сировини (сухого соєвого молока) здійснюється поступове відновлення шляхом додавання води із ретельним

перемішуванням суміші до досягнення однорідної консистенції при температурі 40–60 °C. Згідно з результатами дослідження, це забезпечує необхідні характеристики субстрату для подальшого процесу ферментації. (Yurova, Povstyanoi, & Andreeva, 2021).

Дослідження біотехнології виробництва йогурту на основі рослинної сировини із застосуванням бактерій виду *Bacillus coagulans* продемонстрували, що харчова цінність цього продукту практично не поступається традиційному йогурту. Водночас рослинний йогурт має критично важливу перевагу – відсутність компонентів тваринного походження, зокрема алергенів і лактози. Це робить його придатнішим для споживачів із непереносимістю лактози, забезпечуючи розширення доступності продукту для осіб з особливими дієтичними потребами (Суполкіна, & Варанкіна, 2021).

Дослідниками було розроблено технологію виробництва ферментованих напоїв, яка включає додавання м'якоті кеш'ю та різні концентрації сироватки (10 %, 20 %, 30 %). Пробиотичні напої, ароматизовані плодами кеш'ю, виявились поживними та технологічно стійкими, зберігаючи фізико-хімічну та мікробіологічну стабільність протягом 28 днів зберігання (Souza et al., 2020).

Також був створений рослинний молочний напій на основі кокосового молока та кеш'ю. За результатами органолептичного тесту, напій, що складається зі суміші молока кеш'ю та кокосового у співвідношенні 60:40, виявився найбільш прийнятним серед різноманітних зразків (Sanjana et al., 2022).

Розглянуто перспективи вдосконалення арахісового молока через збагачення його біоактивними сполуками з нетрадиційних рослинних джерел, як-от гуава та умбу. Дослідження показало, що отримані напої мають покращені органолептичні та функціональні властивості, що робить їх особливо привабливими для прихильників здорового харчування (Albuquerque et al., 2013).

Вивчено функціональні характеристики йогурту з тваринного молока та молока чуфа (горіховий напій). Заморожений йогурт зі суміші обох видів молока показав вищу поживну цінність, однак поступався за фізико-хімічними та органолептичними властивостями порівняно з контрольним зразком на основі тваринного молока (Swelam, Zommara, Abd El-Aziz, Elgammal, Baty, & Elmahallawy, 2021).

У Данії проводили ферментацію екстракту чуфи за допомогою адаптованих до рослин середовищ молочнокислих бактерій. Метою було створення холодного «молочного супу» – традиційного літнього десерту. У ході дослідження аналізували вплив різних штамів і складу ферментації на реологічні властивості, стабільність суспензії, сухі речовини, рівень рН і цукровий склад. Порівняння результатів із промисловим аналогом виявило, що штам *Leuconostoc mesenteroides* забезпечував смак і консистенцію, максимально наближені до контрольного зразка (Madsen, Thulesen, Mohammadifar, & Bang-Berthelsen, 2021).

Також оцінювали хімічні, реологічні та сенсорні характеристики йогуртів на рослинній основі порівняно зі звичайним молочним йогуртом. Результати свідчать, що обрані рослинні йогурти демонстрували текстуру і сенсорні показники, схожі з традиційними молочними продуктами (Grasso, Alonso-Miravalles, & O'Mahony, 2020).

Розроблено метод виготовлення сирних аналогів без використання молочних компонентів. У процесі виробництва застосовуються білки, виділені з рослинних джерел, таких як горох, люпин, нут або квасоля (Tulbek, Lam, Wang, Asavajaru, & Lam, 2017). Соевий білок широко використовується завдяки своїй здатності покращувати текстуру продуктів і виступає еталоном у вивченні білків з інших бобових. Ізоляти білка рослинного походження з вмістом понад 80 % не мають смаку, запаху чи кольору, що робить їх придатними для інноваційних продуктів (Gharibzahedi & Smith, 2021). Однак застосування соєвого білка може викликати небажані органолептичні ефекти: бобовий присмак та піщану текстуру у продуктах на основі білка.

Одним із видів рослинного сиру є соєвий сир тофу. Його виготовляють у кілька етапів, які включають відбір соєвих бобів, їх замочування, подрібнення, нагрівання соєвого молока, фільтрування, додавання коагулянтів, пресування та пакування (Ali, Tian, & Wang 2021; Chen, Hsieh, & Кuo, 2023). У процесі замочування та подрібнення соєві боби трансформуються у соєве молоко, при цьому білок із твердої фази переходить у рідку, утворюючи суспензію. До профільтованого соєвого молока додають кристалічну сіль або її водний розчин, нагрівають до 85-110 °C і вводять 1-2 % коагулянту. Як коагулянти використовують оцтову, лимонну, молочну кислоти або їх комбіновані суміші. Унаслідок термічної обробки білок соєвого молока денатурує, а гідрофобні групи вивільняються. Коагуляція та формування гелю є ключовими стадіями виробництва тофу, які безпосередньо впливають на його якість. Після цих етапів у теплу масу (не нижче 68 °C) додають харчові добавки для покращення смаку, наприклад сушену зелень, часник чи паприку. Також тофу може бути виготовлений без добавок. Потім для відділення сироватки масу переміщують у перфоровані форми й пресують протягом не менше 10 хвилин. Після завершення пресування готовий соєвий сир охолоджують до 18–20 °C і пакують у вакуум. Такий спосіб дозволяє отримати сир із текстурою, схожою на моцарелу, відомий як «бавовняний» тофу. Отриманий продукт може зберігатися до 10 днів за температури 8–10 °C (Радзієвська, & Мельник, 2024).

У ході дослідження було створено сирний продукт на основі знежиреного молока із додаванням соєвого білка, отриманий методом кислотної коагуляції без етапу витримки, що дозволило досягти кремоподібної та однорідної консистенції. Зразки, до складу яких входив збагачений соєвий білок, демонстрували підвищений вихід продукції, масову частку жиру в межах 10–13 % та вміст вологи на рівні 68,07–70,75 %. Крім того, спостерігалось збільшення вмісту білка на 6,8–17 % та жиру на 22–32 % порівняно з контрольним зразком. Виготовлений продукт можна

класифікувати як функціональний харчовий продукт завдяки високій біологічній цінності білків і жирів рослинного походження, які також є джерелом ненасичених жирних кислот (Rinaldoni, Palatnik, Zaritzky, & Campderros, 2014).

Додатково було вивчено вплив ізолятів соєвого та арахісового білка на фізико-хімічні параметри сиру. Результати експериментів продемонстрували, що сир із додаванням соєвого ізоляту мав вищу масову частку вологи та більший вихід продукції, тоді як у зразках із арахісовим білковим ізолятом відзначався підвищений вміст білка. Зразки сирів з білковими ізолятами характеризувалися підвищеною в'язкістю та вмістом білка порівняно з контрольним зразком, виготовленим виключно із молочного сироподібного продукту (Salinas-Valdés, De la Rosa Millán, Serna-Saldívar, & Chuck-Hernández, 2015).

Проведені дослідження (Oyeuyinka, Odukoya, & Adebayo, 2019) свідчать, що якісний веганський сир можна виготовити з поєднання соєвого молока та молока горіхів кеш'ю. Такий сир може слугувати джерелом рослинного білка, незамінних жирних кислот і сприяти зниженню ризику білково-енергетичної недостатності. Для задоволення різноманітних потреб споживачів активно розробляються молочні продукти на основі рослинної білковмісної сировини.

Введення рослинних білків у виробництво молочно-білкових концентратів забезпечує оптимальне поєднання білків різного походження в одному складі, що дозволяє отримати продукт з підвищеною біологічною цінністю. Розробка нових видів продуктів з частковою або повною заміною тваринних білків на рослинні, а також розширення асортименту сирних виробів із покращеним харчовим складом є важливим напрямом для виробників молочної та молокової продукції.

1.5. Обґрунтування вибору рослинної білоквмісної сировини для поєднання з молочною основою

Скорочення обсягів товарного молока, яке спостерігається останнім часом, спричинило уповільнення темпів зростання та зниження рентабельності виробництва молочної продукції. У зв'язку з відчутним дефіцитом сиропридатного молока в Україні пріоритетним завданням стає забезпечення стабільної якості молочно-білкових продуктів за рахунок ефективного використання наявної та доступної сировини. Одним із перспективних рішень є застосування сухого знежиреного молока як основи для сирних продуктів, що дозволяє підтримувати високу якість продукції завдяки стабільному хімічному складу сухого молока, а також мінімізувати вплив сезонних коливань. Крім того, важливим напрямком вирішення проблеми дефіциту білка є залучення нових джерел білкової сировини. Перспективними в цьому контексті стають горіхоплідні та бобові культури, які є джерелами високоякісного рослинного білка (Обозна та ін., 2016).

Насіння олійних та бобових культур характеризується високим вмістом білка в порівнянні зі злаками. Бобові, такі як соя, нут, горох, сочевиця та інші, можуть слугувати сировиною для виготовлення молочно-білкових продуктів зі збалансованим складом. Це пояснюється тим, що вони містять приблизно вдвічі більше білка, ніж зернові, а їхня вартість є нижчою порівняно з горіхами. Бобові багаті на високоцінні за біологічними показниками білки, а також містять вуглеводи, мінерали, вітаміни і мають низький рівень жирів. Завдяки високому вмісту клітковини, олігосахаридів і повільно засвоюваного крохмалю, вони мають низький глікемічний індекс (GI 31) (Singh, 2017; Ludwig, Hu, Tappy, & Brand-Miller, 2018). Крім того, бобові проявляють антимікробні, антиоксидантні та протизапальні властивості (Pina-Pérez, & Ferrús Pérez, 2018).

Серед поширених олійних культур високий вміст білка мають соя та бавовник, концентрація білків у яких досягає майже 35 %. Однак у сої виявлено значну кількість інгібіторів трипсину та хімотрипсину, які

становлять до 6 % загального складу. Ці речовини перешкоджають нормальному розщепленню білків у тонкому кишківнику. Через це використання сої для харчових потреб можливе лише після ретельної технологічної обробки (Любич, Войтовська, Третьякова, & Климович, 2020).

Арахіс культурний (*Arachis hypogaea* L.) є однією з найпоширеніших культур родини бобових, високоцінюваною завдяки спектру своїх корисних властивостей. На глобальному рівні його здебільшого вирощують як олійну культуру. Обсяги виробництва арахісу у світі перевищують 35 млн тонн щорічно, причому основним його виробником залишається Китай, який забезпечує понад 45 % світового врожаю. Друге місце займає Індія з показником близько 14 % (Gelaye & Luo, 2024). В Україні ж ринок горіхів, у тому числі арахісу, залишається недостатньо насиченим, але з-поміж інших горіхових культур саме арахіс є найпопулярнішим за частотою споживання. Вирощування цієї культури сконцентроване у південних областях держави.

Дослідження хімічного складу ядер різних сортів арахісу, адаптованих до українських умов, свідчать про високий вміст жирів (34–59 %) та білків (17,6–26,8 %), які становлять основну частину метаболітів. Вуглеводний компонент представлений моносахаридами та дисахаридами (2,0–8,0 %), крохмалем (2,9–9,8 %), клітковиною (2,2–4,3 %) і пектиновими речовинами (1,9–6,4 %). Вологість ядер є незначною і коливається в межах 3,0–9,6 % (Любич та Войтовська, 2023). Закордонні дослідження (Chauhan, Ruby & Dwivedi, 2012; Olajuyigbe, 2013) підтверджують високу поживну цінність ядер арахісу завдяки значному вмісту білків і жирів з високим рівнем засвоюваності. Особливу увагу привертає жирова складова, яка становить близько 50 % маси ядра і включає близько 20 % насичених та 80 % ненасичених жирних кислот. Серед останніх провідну роль відіграють олеїнова та лінолева кислоти, які мають важливе значення для раціону людини.

Білковий склад ядер плодів *Arachis hypogaea* складається з таких основних білків, як альбуміни, глобуліни, глютеліни і проламіни. Висока

біологічна цінність цих білків зумовлена вмістом восьми незамінних амінокислот, які необхідні для нормального функціонування організму людини, але не синтезуються ним самостійно, а також десяти замінних амінокислот, що робить їхній склад схожим до білків тваринного походження. За даними літератури, основними амінокислотами у складі білків ядер *Arachis hypogaea* є аргінін, гліцин, лейцин, аланін і метіонін, тоді як інші зустрічаються у меншій кількості. З амінокислот білка арахісу найбільше представлена глутамінова кислота, концентрація якої варіюється від 14,4 до 21,0 г на 100 г білка. Крім того, арахіс багатий аргініном (8,7–17,7 г/100 г білка) та аспарагіноювю кислотою (7,3–13,0 г/100 г білка). У менших кількостях присутні пролін (4,2–11,9 г/100 г білка), гістидин (1,5–4,8 г/100 г білка), аланін (3,2–7,6 г/100 г білка), гліцин (4,4–7,5 г/100 г білка) та серин (2,8–6,4 г/100 г білка) (Дубініна, Ленерт, Хоменко, & Черевична, 2017).

Особливістю складу вітамінів у арахісі є високий вміст жиророзчинного вітаміну Е (6,0–9,45 мг/100 г) та водорозчинних вітамінів В1 (0,58–0,88 мг/100 г) і РР (12,41–14,84 мг/100 г). З мінеральних речовин у плодах арахісу переважають калій (650–736 мг/100 г), магній (152–188 мг/100 г), фосфор (302–398 мг/100 г), марганець (1,69–2,65 мг/100 г) і залізо (2,09–5,02 мг/100 г). У значно меншій концентрації присутні натрій і кальцій. (Дубініна, Ленерт, & Хоменко, 2013).

Суттєву частину хімічного складу ядер плодів *Arachis hypogaea* становлять поліфенольні сполуки, серед яких ключовими компонентами є п-кумарова кислота, ферулова кислота, етерифіковані похідні п-кумарової кислоти, гідроксибензойна кислота та ресвератрол (Gıdık, Can, & Önemli, 2024). Ці поліфеноли володіють вираженими антиканцерогенними, протизапальними та антиоксидантними властивостями, завдяки яким здійснюється ефективне інгібування процесів окислення ліпідів.

Насіння олійних культур родини бобових, зокрема ядра плодів *Arachis hypogaea*, характеризується високим вмістом інгібіторів трипсину та хімотрипсину. Частка інгібіторів ферментів у загальному вмісті білка

становить близько 6 %; до них належать як високомолекулярні, так і низькомолекулярні сполуки. Наукові дослідження (Degon et al., 2021) описують процеси інактивації або зниження активності цих інгібіторів та оцінюють їхню ефективність. Результати свідчать, що всі види теплової обробки сприяють зменшенню вмісту фітинової кислоти на 3,8–24,7 %, інгібіторів трипсину на 15,6–61,2 %, дубильних речовин на 6,7–68,5 %, лектинів на 75–100 %, а також покращують перетравлюваність білків на 21 %. Найбільш ефективними методами є автоклавування, варіння, запікання з посолом та смаження у фритюрі. Ці способи не лише суттєво зменшують вміст антинутрієнтів, таких як фітинова кислота, дубильні речовини та лектини, але й значно інактивують інгібітори трипсину та хімотрипсину, що, у свою чергу, підвищує поживну цінність і засвоюваність білків.

Зважаючи на зазначені властивості, ядра плодів *Arachis hypogaea* є перспективною сировиною для виготовлення молочно-рослинних концентратів. При цьому важливо правильно організувати попередню обробку ядер для інактивації небажаних компонентів і оптимізувати рівень їх включення до складу продукту задля забезпечення найкращих органолептичних і фізико-хімічних показників.

Однією з вітчизняних альтернатив імпортованій горіховій сировині є земляний мигдаль. Чуфа (тигровий горіх, смикавець їстівний, земляний мигдаль) — багаторічна трав'яниста рослина з родини осокових (*Cyperus esculentus* L.), яка формує солодкі горіхоподібні бульби, багаті на поживні та біологічно активні речовини. Її широко вирощують у різних країнах світу, включаючи Африку, Іспанію, Португалію, США, Китай тощо (Adel, Awad, Mohamed, & Igyna, 2015). В Україні культура чуфи знайшла своє застосування у таких регіонах, як Кіровоградська, Полтавська, Запорізька, Чернігівська, Київська та Тернопільська області.

Чуфа має доволі широку сферу використання: вона підходить для безпосереднього споживання в їжу, застосовується в харчовій та консервній промисловості, медицині, косметології, парфумерії, а також як кормова

культура (Eke-Ejiofor, 2015). Бульби даної рослини можна вживати у сирому, смаженому, сушеному чи запеченому вигляді, або ж готувати з них рослинне молоко та напої на кшталт «Horchata De Chufas» чи «Tigernut milk» (Wakil, Ayenuro, & Oyinlola, 2014). Молоко із чуфи вважається лікувальним напоєм з високою поживною та енергетичною цінністю (Gambo, & Da'u, 2014).

Оскільки хімічний склад чуфи вивчений не повністю, наукових даних про склад її бульб обмаль. Відомо, що бульби чуфи містять значну кількість жирної олії (ліпідів) – близько 20-28 %. Ця олія складається на 18% з насичених жирних кислот (переважно пальмітинової та стеаринової) та на 82 % з ненасичених (в основному олеїнової та лінолевої) (Bazine, & Arslanoglu, 2020). Єгипетськими вченими (Arafat, Said, & Arafat, 2019) встановлено, що вміст вуглеводів у бульбах смикавця їстівного є найвищим від усіх іншим сполук і складав 45,73 %. Крім того, бульби містять 20-35 % крохмалю, 12-28 % моно- та дисахаридів, 8-10 % білків, 15-18 % харчових волокон, а також ферменти, вітаміни (С, α -токофероли, В1, В2, В6) та важливі мікроелементи, такі як магній, кальцій, залізо та фосфор. Вміст деяких вітамінів у бульбах становить: вітаміну С – 10 мг/100 г, α -токоферолів – 5,2 мг/100 г, вітаміну В1 – 0,1 мг/100 г, вітаміну В2 – 0,2 мг/100 г та вітаміну В6 – 0,55 мг/100 г (Codina-Torrella, Guamis, & Trujillo, 2015; Maduka, & Ire, 2018; Adama, Afolayan, Oberafo, & Thomas, 2014).

У джерелах наукової літератури є інформація, що смикавець їстівний вміщує 0,3-2,8 % ефірної олії, терпеноїди (цепирол, ізоцепирол, кубусон, ізокубусон), глікозиди. У бульбах смикавцю їстівного виявлено 17 амінокислот: цистеїн, пролін, *L*-аланін, *L*-аспарагінова кислота, гліцин, *L*-глутамінова кислота, аргінін і незамінні амінокислоти: ізолейцин, лейцин, лізин, *L*-гістидин, *L*-метіонін, *L*-теонін, фенілаланін, *L*-тирозин, *L*-серин, *L*-валін. У найбільшій кількості спостерігали наявність глутамінової кислоти. У значних кількостях виявлено також аспарагінову кислоту, аргінін, лейцин та серин (Olaoye, 2016; Скуйбіда, Онопрійчук, Грек, & Тимчук, 2022).

Методом газової хроматографії вчені (Oladele, Adebawale, & Bamidele, 2017) визначили наявність у бульбах смакавця їстівного гідроксибензойних, гідрокислотних кислот і флавоноїдів. Основними фенольними кислотами у бульбах жовтого кольору були ферулова кислота (58,38 мг/100 г), *p*-гідроксибензойна кислота (29,12 мг/100 г), *p*-гідроксибензальдегід (16,47 мг/100 г) та ванілова кислоти (5,88 мг/100 г); у бульбах коричневого кольору – ванілова (15,20 мг/100 г), *p*-кумарова (17,25 мг/100 г), кавова (15,25 мг/100 г), ферулова (33,79 мг/100 г) та синапова кислоти (20,97 мг/100 г).

Екстракти чуфи мають антибактеріальну активність проти патогенної мікрофлори. Деякі дослідження показали, що бульби чуфи містять вторинні метаболіти флавоноїдів, які проявляють антиоксидантну активність та антикоагулянтну дію. Антиоксиданти чуфи підвищують імунну систему, поліпшують увагу, стан шкіри та пам'ять, понижують рівень цукру у крові, нормалізують роботу шлунку. Чуфа сприяє очищенню організму від токсинів та виводить радіонукліди. (Zhang et al., 2022; Gugsu, & Yaya, 2018; Suleiman, Olajide, & Omale, 2018).

Узагальнений хімічний склад білоквмісної рослинної сировини наведено в табл. 1.1 (Любич, & Войтовська, 2022; Zahran, & Tawfeuk, 2019; Sarkiyayi, & Kanu, 2019; Imo et al., 2019; Yoon, 2015; Івасюк, Марчишмин, & Будняк, 2019; Болгова, Самілик, Назаренко, & Шмідт, 2023; Qin, Wang, & Luo, 2022; Wang et al., 2021).

Таблиця 1.1 – Узагальнений хімічний склад білоквмісної рослинної сировини

Найменування комоненту	Ядра плодів <i>Arachis hypogaea</i>	Бульби Чуфи	Боби сої	Насіння нуту
Волога, %	3,0...9,6	3,5...6,13	4,5...12,0	6,5...14,2
Білок, %	17,6...26,8	5,04...9,7	38,0...42,0	20,1...20,5
Жир, %	35...58	21,57...32,13	18,0...23,0	2,9...16,1

Вуглеводи, %	10,3...24,2	41,22...64,73	21,7...30,0	46,2...63,0
Клітковина, %	2,2...4,3	5,62...22,13	2,5...12,4	3,7...12,2
Зола, %	2,5...3,2	1,69...3,97	2,1...4,7	2,8...3,0
Кальцій, мг/100 г	4,0...5,8	15,2...73,9	295...348	171...192
Фосфор, мг/100 г	322...398	14,1...30,12	420...608	385...446
Магній, мг/100 г	152...188	1,22...11,9	183...226	92...126
Натрій, мг/100 г	19...26	15,1...24,07	–	16,7...28,0
Залізо, мг/100 г	2,18...4,12	3,65...4,25	7,2...15,0	815...967
Калій, мг/100 г	660...722	216...556	1235...1607	864...968
Манган, мг/100 г	1,69...2,42	3,3...3,8	2,1...2,8	-

Грунтуючись на аналізі наукової літератури, дослідження хімічного складу та функціонально-технологічних властивостей рослинної білкової сировини свідчить про перспективність використання рослинних білків у виробництві молочно-білкових продуктів. Таке поєднання дозволяє збагатити продукти незамінними амінокислотами, ненасиченими жирними кислотами, полісахаридами та іншими цінними нутрієнтами. Завдяки комбінуванню, дефіцит певних амінокислот в одному компоненті компенсується їх достатнім або надлишковим вмістом в іншому. На основі аналізу літературних джерел (Любич, & Войтовська, 2023; Chauhan, Ruby, & Dwivedi, 2012; Olajuyigbe, 2013; Дубініна, Ленерт, & Хоменко, 2013; Settaluri, Kandala, Puppala, & Sundaram, 2012; Gıdık, Can, & Önemli, 2024) , ядра плодів *Arachis hypogaea* є вдалим вибором як перспективна рослинна сировина для виробництва молочно-рослинних концентратів. Арахіс вирізняється високим вмістом білка (до 26,8 %), який за своїм амінокислотним профілем близький до білків тваринного походження. Це робить його цінним функціональним компонентом у комбінованих білкових системах. Серед переваг білків арахісу – наявність усіх незамінних амінокислот, зокрема лейцину, метіоніну, лізину та аргініну, а також висока концентрація глютамінової та аспарагінової кислот, що зумовлює високу біологічну цінність продукту. Крім того, ядра

арахісу багаті на ненасичені жирні кислоти, особливо олеїнову та лінолеву, які відіграють важливу роль у підтримці ліпідного обміну та запобіганні серцево-судинним захворюванням. Наявність в арахісі антиоксидантів, таких як ресвератрол і поліфенольні сполуки (ферулова, кумарова, ванілова кислоти), підвищує функціональну цінність концентратів та забезпечує їх антиоксидантні властивості. Важливою перевагою є також доступність арахісу на українському ринку, що сприяє зниженню собівартості виробництва завдяки місцевій сировинній базі. Адаптація окремих сортів до кліматичних умов України гарантує стабільне постачання сировини та зменшує залежність від імпорту. Хоча в арахісі присутні антипоживні речовини, такі як інгібітори трипсину та фітинова кислота, їхній вміст ефективно зменшується за допомогою термічної обробки (автоклавування, обсмажування, варіння). Це покращує засвоюваність білка та підвищує загальну поживну цінність готового продукту. Отже, використання арахісу як основного джерела рослинного білка у технології ферментованих молочно-рослинних концентратів є науково обґрунтованим з огляду на його хімічний склад, функціонально-технологічні властивості, біологічну цінність та економічну вигідність.

Однак вирішення потребує задача зменшення алергічності компонентів арахісу.

1.6. Сучасні методи попередньої обробки ядер плодів *Arachis hypogaea*

Використання ядер плодів *Arachis hypogaea*, як сировини в молочній промисловості значною мірою залежить від ефективності підбору режимів попередньої обробки для зменшення алергенного потенціалу, деактивування інгібіторів ферментів і покращення фізико-хімічних властивостей при створенні молочно-рослинних концентратів.

Арахіс (*Arachis hypogaea*) належить до групи найбільш поширених харчових алергенів, що зумовлює необхідність ретельного підходу до його попередньої обробки перед внесенням у молочні продукти. Попередня

обробка є важливим етапом технологічного процесу, оскільки спрямована на інактивацію небажаних компонентів, зокрема інгібіторів травних ферментів, таких як трипсин та хімотрипсин. Наявність цих антипоживних сполук негативно впливає на процеси перетравлення білків, знижуючи їхню біодоступність та засвоюваність в організмі людини (Yu, Ahmedna, Goktepe, Cheng, & Maleki, 2011).

У зв'язку з цим значна увага в наукових дослідженнях (Ahmad et al., 2019) приділяється розробці ефективних методів зниження алергенності ядер плодів *Arachis hypogaea*. Серед основних напрямів вивчаються різні види термічної обробки – зокрема варіння, обсмажування, автоклавування, а також технологічні підходи, що передбачають використання проміжних продуктів.

Зокрема, результати досліджень, проведених (Jain, Yadav, Rajput, & Bhatt, 2013), свідчать про високий потенціал арахісового молока як функціонального харчового продукту. Використання таких технологій, як бланшування під тиском і ферментативний гідроліз, сприяло підвищенню антиоксидантної активності продукту, а також зниженню вмісту антипоживних факторів, включаючи фітинову кислоту та дубильні речовини. Це, своєю чергою, позитивно вплинуло на покращення біодоступності поживних речовин і засвоюваності білка, що є ключовим для формування продуктів з високою харчовою цінністю.

Ефективність таких методів обробки, як автоклавування, обсмажування та ферментація, була предметом численних наукових досліджень (Win, Abdul-Hamid, Baharin, Anwar, & Saari, 2011). Зазначені технологічні підходи не лише покращують фізико-хімічну стабільність арахісового молока, а й сприяють підвищенню емульгуючої здатності та розчинності білкових компонентів. Зокрема, у дослідженні (Albuquerque, Almeida, Gomes, Alves, & Silva, 2015) встановлено, що бланшування під тиском дозволяє зберегти органолептичні характеристики арахісового молока та знижує інтенсивність небажаної гіркоти, що підвищує споживчу привабливість продукту.

Науковцями з'ясовано, що термічна обробка, зокрема варіння чи

смаження, забезпечують зниженню алергенного впливу ядер плодів *Arachis hypogaea* (Eltom, Sulieman, & Hassan, 2022).

Також відомі дослідження впливу імпульсного ультрафіолетового світла «*pulsed UV light*» на зниження алергенності основних білків арахісу. Опромінювання ультрафіолетовим світлом знижує їх концентрації в межах 6,7–12,9 % (Yang, Mwakatage, Goodrich-Schneider, Krishnamurthy, & Rababah, 2012). Крім того, було встановлено, що використання імпульсного світла дозволяє знизити активність головних алергенів, зокрема білків *Ara h 1*, *Ara h 2* тощо. Результати показали, що така обробка знижує імунореактивність цих білків на 80 %, не погіршуючи при цьому органолептичні властивості продукту. Це відкриває перспективи використання технології «*pulsed UV light*» для виробництва менш алергенних продуктів з арахісу.

Згідно з дослідженням (Bu, Luo, Zhang, & Chen, 2010), ферментація арахісу сприяє зниженню його алергенності майже на 70 %. Водночас, зазначене питання потребує подальшого наукового опрацювання.

Обробка арахісу в автоклаві під тиском 2,56 атм протягом 30 хв суттєво знижує його алергенні властивості (Cabanillas et al., 2012). Однак цей спосіб вимагає значних енергетичних витрат і використання дорогого обладнання.

Дослідження показують (Дубініна, Ленерт, Хоменко, & Черевична, 2017), що певні методи обробки, зокрема варіння та помірне обсмаження, можуть знизити алергенний потенціал арахісу, тоді як високотемпературні процеси, навпаки, можуть його підвищити через реакцію Майяра. Також перспективними є методи, що включають використання магнітних гранул, ферментацію та рафінування олії, які сприяють його усуненню або зменшенню.

З огляду на вищезазначене, можна зробити висновок, що окремі методи зниження алергенності вимагають використання дорогого обладнання або значних енергетичних ресурсів, при цьому їхня безпека та ефективність ще не є остаточно підтвердженими та потребують подальших досліджень. У

зв'язку з цим доцільно обрати такий метод, який можна легко інтегрувати в існуючий виробничий процес без суттєвих додаткових витрат.

Беручи до уваги наведені вище літературні дані, на початковому етапі було проведено термічну обробку ядер плодів *Arachis hypogaea*. Існують підстави вважати, що обробка за температури 120 °C упродовж 30–35 хв є ефективною для зниження вмісту інгібіторів ферментів до безпечного рівня, при збереженні високих функціонально-технологічних властивостей білків. Вибір саме цього температурного режиму обумовлений попередніми дослідженнями (Дубініна, Ленерт, Хоменко, & Черевична, 2017), які засвідчили, що обсмаження в межах 120–145 °C сприяє зниженню алергенності арахісу, тоді як вищі температури (150–170 °C) навпаки – підвищують її через активізацію реакцій Майяра. Крім того, такий температурний режим сприятиме руйнуванню антипоживних сполук, зокрема фітинової кислоти та танінів, що додатково покращить органолептичні й фізико-хімічні властивості продукту.

Отже, обрані умови попередньої термічної обробки дозволяють не лише підвищити харчову цінність ядер плодів *Arachis hypogaea*, а й забезпечити їхню безпечність та технологічну придатність до використання у виробництві молочно-рослинних концентратів.

Висновки до розділу I

Актуальність використання рослинних білків у молочно-рослинних продуктах зумовлена як економічними чинниками (зниження обсягів молока-сировини), так і соціальними потребами (зростання попиту на продукти для осіб із непереносимістю лактози, веганів, споживачів, що дотримуються принципів здорового харчування). Це визначає доцільність розроблення та удосконалення технології ферментованих молочно-рослинних продуктів з раціональним складом.

Білки рослинного походження, зокрема з бобових і горіхоплідних культур, характеризуються високою біологічною цінністю, збалансованим амінокислотним складом, доступністю та порівняно низькою собівартістю,

що визначає їх перспективність у створенні комбінованих білкових систем. Особливу увагу заслуговують горіхи, злаки, бобові культури (соя, горох, нут) й альтернативи тваринному молоку (овес, мигдаль, чуфа, арахіс).

Коагуляція білків є ключовим етапом у виробництві молочно-рослинних концентратів. Проаналізовано сучасні підходи до коагуляції білків молока (термокислотна, кислотно-сичужна, сичужна) та можливості адаптації цих процесів до білків рослинного походження (соевий білок, білки арахісу), що має важливе значення для забезпечення структурної стабільності й оптимальних органолептичних властивостей готового продукту.

Ринок рослинного молока демонструє сталу позитивну динаміку розвитку, що проявляється у розширенні асортименту альтернативних молочних продуктів на основі різних видів рослинної сировини та зростанні частки вітчизняних виробників, які впроваджують сучасні технології для задоволення попиту споживачів із різними харчовими потребами.

Обґрунтовано вибір плодів арахісу *Arachis hypogaea* як основної рослинної білоквмісної сировини для створення ферментованих молочно-рослинних продуктів. Завдяки високому вмісту повноцінних білків, ненасичених жирних кислот, вітамінів і антиоксидантів забезпечується підвищення біологічної цінності готових виробів. Його доступність на внутрішньому ринку України знижує економічні ризики виробництва.

Обґрунтовано необхідність попередньої обробки ядер плодів *Arachis hypogaea*, що дозволяє знизити вміст інгібіторів ферментів, фітинової кислоти та інших антипоживних чинників, а також забезпечує стабільність білкової фракції без значної втрати її функціональних властивостей.

Виявлено потребу в подальшому удосконаленні технологій ферментованих молочно-рослинних продуктів з урахуванням біохімічних особливостей рослинної сировини, зокрема можливостей ферментаційної модифікації для покращення текстури, засвоюваності та безпечності.

РОЗДІЛ II. ОРГАНІЗАЦІЯ, МЕТОДОЛОГІЯ ТА МЕТОДИ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

2.1. Організація і методологія роботи

Експериментальні дослідження виконувались в Національному університеті харчових технологій, а саме: в науково-дослідних лабораторіях кафедри технології молока і молочних продуктів, кафедри технології м'яса і м'ясних продуктів, Проблемній науково-дослідній лабораторії НУХТ; Національному університеті біоресурсів і природокористування України; Інституті технічної теплофізики НАН України, Інституті продовольчих ресурсів НААН, ДП «Науковий центр превентивної токсикології, харчової та хімічної безпеки імені академіка Л.І. Медведя МОЗ України» та виробничій лабораторії ТОВ «Сандора».

Перевірку технології у виробничих умовах та промислове впровадження здійснювали на молокопереробному підприємстві ТОВ «Сандора» м. Вишневе Київської області.

На першому етапі наукових досліджень було поставлена задача провести аналітичне дослідження стану та перспективи виробництва ферментованих молочно-рослинних продуктів, сформулювати мету, завдання, встановити предмет та об'єкт досліджень, підібрати методи досліджень.

Експериментальний етап роботи включав наступні завдання:

- ✓ аналітично обґрунтувати доцільність застосування ядер плодів *Arachis hypogaea* в технології ферментованих молочно-рослинних продуктів на основі білкових концентратів;
- ✓ визначити раціональні параметри підготовки ядер плодів *Arachis hypogaea* та режим отримання сироватково-рослинної суспензії з оцінкою їх впливу на перетравлюваність білків *in vitro*;
- ✓ оптимізувати технологічні режими виробництва молочно-рослинних концентратів способом термокислотного осадження білків молочно-рослинної суміші;

- ✓ проаналізувати процес ферментації молочно-рослинних концентратів отриманих методами термокислотної або кислотно-сичужної коагуляції;
- ✓ дослідити функціонально-технологічні властивості молочно-рослинних концентратів, отриманих термокислотним або кислотно-сичужним способами за варіативного вмісту сироватково-рослинної суспензії;
- ✓ встановити вплив ядер плодів *Arachis hypogaea* на стан вологи, реологічні та мікроструктурні показники молочно-рослинних концентратів, вироблених рівними способами коагуляції;
- ✓ визначити зміну біологічної цінності молочно-рослинного концентрату з ядрами плодів *Arachis hypogaea* порівняно з молочно-білковим;
- ✓ обґрунтувати раціональні технологічні параметри технології ферментованих молочно-рослинних продуктів з ядрами плодів *Arachis hypogaea*, розробити принципову технологічну та апаратурно-технологічну схеми виробництва;
- ✓ провести комплексну оцінку якості ферментованих молочно-рослинних продуктів з ядрами плодів *Arachis hypogaea* під час гарантованого терміну зберігання;
- ✓ розробити проекти нормативних документацій на білкові молочно-рослинні концентрати та продукти на їх основі, провести промислову апробацію за розробленою технологією та визначити очікуваний економічний та соціальний ефекти від впровадження наукової розробки.

Загальна схема досліджень представлена на рис. 2.1.

2.2. Об'єкт та предмети досліджень

Об'єкт досліджень – технологія ферментованих молочно-рослинних продуктів на основі концентратів, отриманих способами термокислотної або кислотно-сичужної коагуляції.

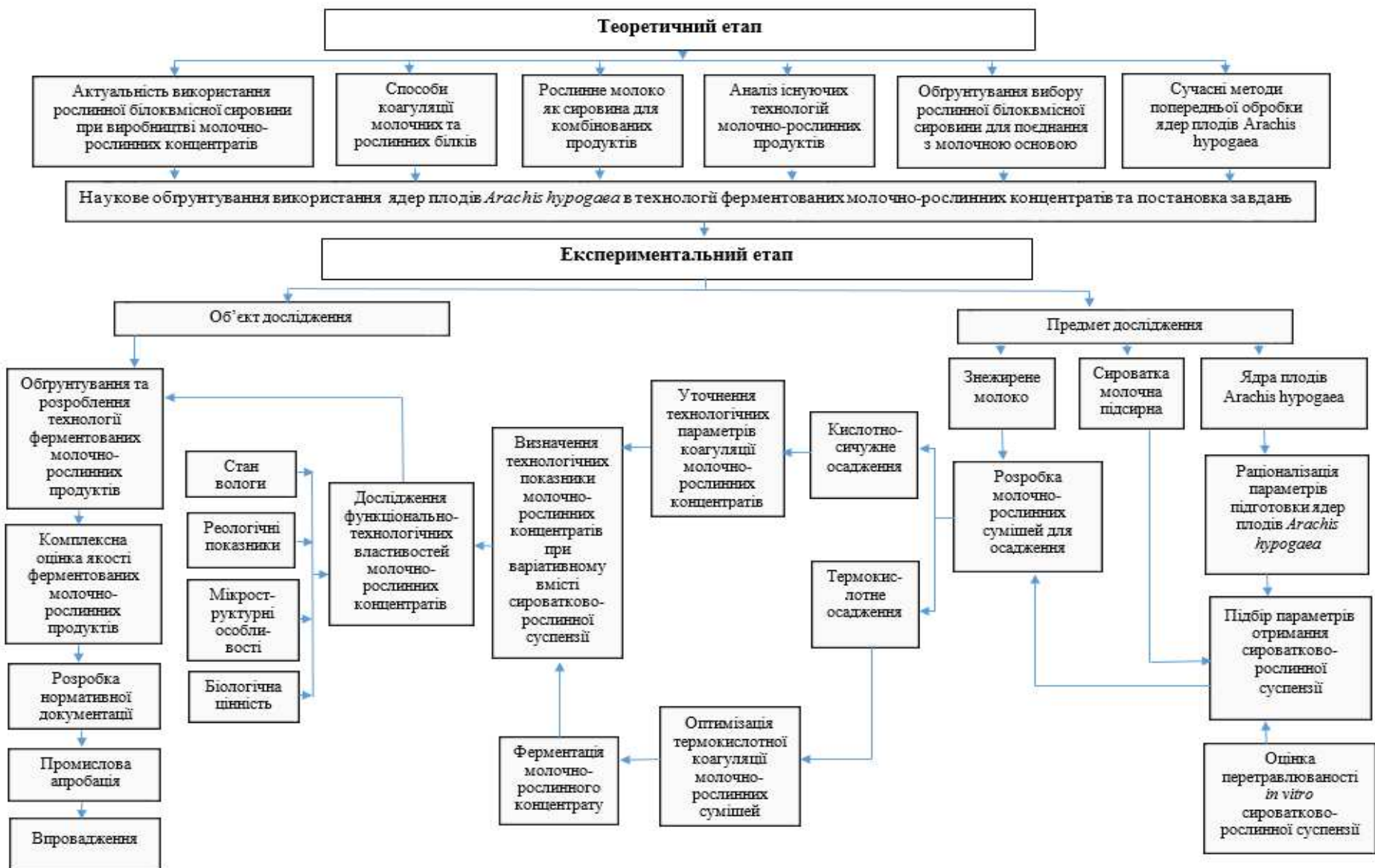


Рисунок 2.1. Загальна схема досліджень

Предмети досліджень – молоко коров'яче; сироватка молочна підсирна; ядра плодів *Arachis hypogaea*; сироватково-рослинна суспензія; молочно-рослинна суміш; молочно-рослинні концентрати, отримані способами термокислотної або кислотно-сичужної коагуляції; показники якості ферментованих молочно-рослинних концентратів та ферментованих молочно-рослинних продуктів.

2.3. Матеріальна база

2.3.1. Сировина та матеріали

Сировина, яку використовували для проведення досліджень, відповідала вимогам наступних нормативних документів:

- молоко незбиране – ДСТУ 3662:2018 «Молоко сировина. Технічні умови»;
- ядра плодів *Arachis hypogaea* – ДСТУ 4504:2005 «Ядра бобів арахісу. Загальні технічні умови»;
- вода питна – згідно Сан Пін 2.2.4–171–10 та ДСТУ 4808:2007 «Вода питна. Гігієнічні вимоги до якості води, призначеної для споживання людиною»;
- закваска *Probat 222 TM «DANISCO»* (склад: *Lactococcus lactis subsp. lactis*; *Lactococcus lactis subsp. cremoris*; *Lactococcus diacetylactis*; *Leuconostoc mesenteroides subsp. cremoris*);
- молокозсідальний фермент *CAGLIO Marschall TM «Danisco»*;
- водний розчин 40%-го хлористого кальцію;
- рецептурні інгредієнти: зелень сушена відповідно до ДСТУ 8645:2016, сіль – ДСТУ 3583:2015, цукати – ДСТУ 6075:2009, цукор білий – ДСТУ 4623:2023, фруктові та овочеві наповнювачі – ДСТУ 6090:2009, глазур – ДСТУ 4660:2017, масло вершкове – ДСТУ 4399:2005, горіх волоський – ДСТУ 8900:2019.

2.3.2. Контрольні та дослідні зразки

Отримання контрольних та дослідних зразків передбачало поетапну технологічну обробку сировини, яку здійснювали у такій послідовності:

✓ *сироватково-рослинна суспензія*: ядра плодів *Arachis hypogaea* піддавали попередній термічній обробці за температури 120 °C протягом 30–35 хв для інактивації ферментів. Далі їх замочували для набухання, після чого промивали 2–3 рази для видалення механічних включень. Підготовлені ядра заливали підсирною молочною сироваткою, після чого отриману суміш подрібнювали до гомогенного стану. Отриману сироватково-рослинну суспензію фільтрували та вносили у підготовлене знежирене молоко;

✓ *молочно-рослинні суміші* готували зі знежиреного молока та сироватково-рослинної суспензії у різних співвідношеннях компонентів;

✓ *ферментований молочно-рослинний концентрат, отриманий термокислотним способом*: процес коагуляції здійснювали за температури 92 ± 2 °C шляхом змішування молочно-рослинної суміші з молочною сироваткою, кислотність якої становила 150 ± 10 °T у співвідношенні 1:10 ÷ 5:10, з витримкою протягом 4 ± 1 хв. Утворений концентрат піддавали самопресуванню протягом 30 ± 2 хв. Після цього здійснювали інокуляцію концентрату заквасочним препаратом *Probat 222* у заданій дозі. Для рівномірного розподілу інокуляту проводили перемішування протягом 5–10 хв на низьких обертах, уникаючи надмірного механічного впливу, щоб не порушити структуру згустку. Інокульовану суміш залишали для ферментації за оптимальної температури 35–37 °C на 4–5 год. Після закінчення ферментації концентрат охолоджували до температури 4 ± 2 °C для припинення молочнокислого бродіння, що супроводжувалося нарощуванням кислотності;

✓ *ферментований молочно-рослинний концентрат, отриманий кисло-сичужним способом*: пастеризацію підготовленої молочно-рослинної суміші проводили за температури 74–76 °C з витримкою 20–30 с, після чого суміш охолоджували до 35–37 °C – оптимальної для росту мезофільної мікрофлори. Далі здійснювали інокуляцію суміші заквасочним препаратом *Probat 222* у відповідній дозі, рівномірно розподіляючи у середовищі та залишали для сквашування. Молокозсідальний фермент

CAGLIO Marschall TM «Danisco» додавали згідно рекомендацій виробника, водний розчин 40%-го хлористого кальцію із розрахунку 20-40 г безводної солі на 100 кг молока. Після завершення сквашування вживали заходи щодо прискорення вилучення сироватки: готовий згусток розрізали спеціальними дротяними ножами на кубики розміром близько 2 см. Розрізаний згусток залишали у спокої протягом 40–60 хв для подальшого наростання кислотності та інтенсивнішого відокремлення сироватки. Потім сироватку частково видаляли. Для інтенсифікації процесу синерезису підігрівали згусток до температури 36–40 °С з витримкою 15–20 хв. Для остаточного видалення сироватки та отримання концентрату зі стандартним вмістом вологи застосовували спочатку самопресування, а потім – примусове пресування. Отриманий концентрат охолоджували до температури 4 ± 2 °С для припинення молочнокислого бродіння;

✓ ферментований молочно-білковий концентрат (контроль), отриманий термокислотним та кислотно-сичужним способами, виготовляли за аналогічними технологічними параметрами, що й молочно-рослинний концентрат, однак як основу використовували виключно знежирене коров'яче молоко.

2.4. Методи експериментальних досліджень

Для удосконалення технології ферментованих молочно-рослинних продуктів та дослідження їх здатності до зберігання застосовували, органолептичні, фізико-хімічні, технологічні, мікробіологічні та мікроструктурні методи аналізу. У процесі виконання дисертаційного дослідження використовувалися стандартні, загальноприйняті та адаптовані методи, що забезпечували досягнення поставлених цілей. Оптимізацію технологічних процесів проводили експериментально-статистичним методом Бокса- Уільсона.

2.4.1. Стандартні методи дослідження

Дослідження здійснювалося за такими методиками:

- відбір зразків та їхня підготовка до аналізу відбувалися відповідно до ДСТУ ISO 707-2002;
- органолептичні властивості (смак, запах, консистенція, зовнішній вигляд) встановлювали візуальним оглядом та дегустацією підготовлених для дослідження продуктів за температури від 15 до 20 °С;
- активну кислотність визначали потенціометричним методом згідно з ДСТУ 8550:2015;
- вміст вологи та сухих речовин визначали висушуванням до сталої ваги на вологомірі «Кварц»;
- вміст білка визначали методом К'ельдаля відповідно до ДСТУ 5038:2008;
- підготовка зразків та їх розведення для мікробіологічного дослідження проводилися згідно з ДСТУ IDF 122C:2003;
- кількість молочнокислих мікроорганізмів визначали відповідно до ДСТУ 7999:2015;
- кількість пліснявих грибів та дріжджів визначали згідно з ДСТУ 8447;
- визначення бактерії групи кишкової палички визначали згідно з ДСТУ IDF 73;
- визначення патогенних мікроорганізмів, включаючи бактерії роду *Salmonella*, проводили згідно з ДСТУ IDF 93A:2003;
- визначення *Staphylococcus aureus* проводили згідно з ДСТУ ISO 6888-1:2003;
- Визначення наявності *Listeria monocytogenes* проводили згідно з ДСТУ ISO 11290-1 та ДСТУ ISO 11290-2.

2.4.2. Загальновідомі методи дослідження

Дослідження проводились наступними методами.

Вологоутримуючу здатність – вимірювання кількості води, що виділяється з продукту при його легкому стисканні та вбирається

фільтрувальним папером, дало змогу визначити вологоутримуючу здатність продукту за такою формулою (Savchenko et al., 2025):

$$\text{ВУЗ} = \frac{a - b}{a} \cdot 100, \quad (2.1)$$

де ВУЗ – вологоутримуюча здатність, %; a – кількість води в наважці продукту, мг; b – кількість води, що виділилась з наважки продукту, мг, знаходиться по різниці маси до і після пресування.

$$a = \frac{300 \cdot V_{\text{пр}}}{100}, \quad (2.2)$$

де 300 – наважка продукту, мг; $V_{\text{пр}}$ – масова частка води в продукті, %.

Мікроструктурний аналіз виконувався за допомогою люмінесцентного та фазово-контрастного мікроскопа XSP-139A-TP, обладнаного цифровою фотокамерою Canon-66 (виробник NNGOA Company LTD) при збільшенні 600 разів (10 x60).

Амінокислотний склад – використовувався метод іонообмінної хроматографії на приладі Biotronik LC-2000. Суть даного методу полягає у розщепленні зразка до амінокислот з подальшим їх визначенням за допомогою високоефективної рідинної хроматографії на амінокислотному аналізаторі LC 3000 виробництва «Eppendorf-Biotronic» (Німеччина) (Онопрійчук, & Грек, 2012).

Біологічну цінність визначали шляхом розрахунку наступних показників:

Амінокислотний скор (АС, %), визначається як співвідношення масової частки кожної незамінної амінокислоти у досліджуваному продукті (НАКпр, г/100 г білка) до вмісту відповідної незамінної амінокислоти в «ідеальному білку» (НАКід, г/100 г білка) згідно з амінокислотою шкалою, рекомендованою комітетом ФАО/ВООЗ (Онопрійчук, & Грек, 2012).

Розрахунок амінокислотного скору (C_j) проводили за формулою:

$$C_j = \frac{A_j}{A_{ej}} \cdot 100 \quad (2.3)$$

де A_j – масова частка j -ї НАК у продукті, г/100 г білка, A_{ej} – масова частка j -ї НАК в еталоні, частка од або фізіологічно необхідній нормі, для визначеної групи споживачів, г/100г білка.

Коефіцієнт утилітарності амінокислотного складу продукту (U) – коефіцієнт утилітарності чисельно відображає збалансованість усіх незамінних амінокислот білка відносно еталону, тобто фізіологічної норми. Він застосовується для порівняння білкового складу різних харчових продуктів, враховуючи їхній амінокислотний склад та ступінь адекватності їхнього засвоєння організмом. Розрахунок коефіцієнта утилітарності здійснювали за такою формулою (у частках одиниці):

$$U = C_{\min} \frac{\sum_{j=1}^8 A_{ej}}{\sum_{j=1}^8 A_j} \quad (2.4)$$

де A_{ej} – вміст j -ї НАК в еталоні, мг/г білку; A_j – вміст j -ї НАК в білку продукту, мг/г білку; $C_{\min}$ – скор першої лімітованої НАК, частка од.

Коефіцієнт надлишковості НАК ($\sigma_{\text{над}}$) цей показник відображає масу незамінних амінокислот, що містяться у 100 г білка досліджуваного продукту та засвоюються організмом не повністю.

$$\sigma_{\text{над}} = \frac{\sum_{j=1}^k (A_j - C_{\min} A_{ej})}{C_{\min}} \quad (2.5)$$

Коефіцієнт різниці амінокислотного скору (КРАС) – метод ґрунтується на твердженні, що засвоєння незамінних амінокислот обмежується кількістю лімітуючої амінокислоти. Отже, увесь їх надлишок використовується для енергетичних потреб, а не для біосинтезу білків. Середнє значення надлишку амінокислотного скору незамінних амінокислот відносно найменшого амінокислотного скору лімітуючої амінокислоти (КРАС) визначали за такою формулою:

$$\text{КРАС} = \frac{\sum \Delta \text{РАС}}{n}, \quad (2.6)$$

де КРАС – коефіцієнт різниці амінокислотного скору, %; РАС – різниця амінокислотного скору для кожної НАК у порівнянні з АС лімітуючої амінокислоти, %; n – кількість амінокислот.

Чим менше значення КРАС, тим повніше використовуються НАК на потреби біосинтезу. Звідси біологічна цінність білка продукту буде

$$\text{БЦ} = 100 - \text{КРАС} , \quad (2.7)$$

де БЦ – біологічна цінність білка, %.

Визначення ефективної в'язкості, граничного напруження зсуву та зсувного зусилля. Для здійснення випробувань реології досліджували МРК за температур 25 та 68 °С на реометрі «Kinexus Pro+» із використанням геометрії *Starch Paddle Plastic 2 Blade*, яка являє собою коаксіальний циліндр з лопатевою мішалкою (PC34 SL0007 SS), змонтованою на вертикальному валу. Підготовлені зразки поміщали у циліндр, опускали мішалку та доводили до температури 25 °С, витримували 5 хв. Криві в'язкості й течії формували шляхом поступового збільшення швидкості зсуву у діапазоні 0,1–100 с⁻¹ та напруги зсуву 0–200 Па. Аналогічні випробування проводили після нагрівання зразків до 68 °С. Осциляційні дослідження здійснювали у частотному діапазоні 0–10 Гц та при комплексній деформації зсуву 0–100 % (Marynin, & Shpak, 2023; Alvarez, Fuentes, & Canet, 2015).

Метод дослідження процесу дегідратації за допомогою дериватографа – якісне та кількісне визначення явищ, що протікають під час нагрівання зразків, проводиться за допомогою кривих зміни температури зразка (Т), його ваги (ТГ), швидкості зміни ваги (ДТГ) та ДТА. Крива ДТА відображає різницю температур між досліджуваним зразком та інертною речовиною як різницю термоелектрорушійних сил термопар. ДТА дає змогу ідентифікувати теплові явища, що відбуваються в об'єкті під час його нагрівання. Через наявний термічний опір матеріалу об'єкта спостерігається зміщення температури піків теплових ефектів (ДТА). Об'єкти розміщували у відкритий конічний платиновий тигель, що входить до комплексу дериватографа. Середовищем слугувало нерухоме повітря. Як інертну

речовину в тиглі порівняння використовували оксид алюмінію. Коригування температурної шкали здійснювали за температурою плавлення бензойної кислоти ($122,4^{\circ}\text{C}$). Відхилення температури не перевищувало $\pm 0,5\text{ K}$ (Михайлик, Снежкін, & Корінчевська, 2015).

Визначення вмісту білка методом К'ельдаля – передбачає визначення загального азоту з подальшим перерахуванням на білок. Для цього у колбу К'ельдаля разом зі скляними бусинками чи порцеляновими шматочками вносять 10 г подрібненої суміші сульфату калію та каталізатора (CuSO_4 або HgO). В бюкс із кришкою відмірюють 1 cm^3 дослідного зразку, закривають і зважують із точністю до 0,001 г, після чого переносять його в колбу й повторно зважують порожній бюкс, щоб визначити масу зразка. Далі в колбу по стінках обережно додають 10 cm^3 концентрованої сульфатної кислоти та 10 cm^3 пероксиду водню (або 0,5 г перманганату калію) й змивають залишки продукту зі стінок. Після закриття колби грушоподібною пробкою її вміст перемішують обережними коловими рухами і нагрівають під кутом 45° : спочатку помірно, доки не припиниться піноутворення, а потім інтенсивніше, доки розчин не стане прозорим і безбарвним (за каталізатора HgO) або злегка блакитним (за каталізатора CuSO_4). Після досягнення прозорості нагрівання продовжують ще 1,5 год і потім дають колбі охолонути до кімнатної температури, після чого додають 20 cm^3 дистильованої води й перемішують до повного розчинення осаду.

Для відгонки аміаку монтують апарат для перегонки із колбою–парогенератором, холодильником, краплеуловлювачем і ділильною лійкою. У приймальну колбу ємністю 200 cm^3 вносять 20 cm^3 4 % розчину борної кислоти та 4 краплі індикатора. Закривають випускnu лінію й відкривають подачу пари у колбу К'ельдаля, нагріваючи колбу-парогенератор до кипіння. Через ділильну лійку у колбу К'ельдаля додають 50 cm^3 20 % розчину натрію гідроксиду (за використання HgO як каталізатора в розчин додають сульфід натрію). Дистиляцію ведуть до збору $90\text{--}120\text{ cm}^3$ дистиляту (5–10 хв) за температури на виході з холодильника не вище 25°C . Для контролю повноти

перегонки додають ще 20 см³ борної кислоти й дистилюють 5 хв: відсутність зміни кольору свідчить про відсутність аміаку. Наприкінці перегонки алонж опускають над поверхнею борної кислоти й продовжують процес 1–2 хв, після чого припиняють нагрівання й змивають алонж дистильованою водою.

Отриманий дистилат титрують 0,2 моль/дм³ розчином соляної кислоти до зміни забарвлення індикатора (метиленовий блакитний: зелений → фіолетовий; бромкрезоловий або брильянтовий зелений: зелений → червоний). Паралельно виконують контрольний аналіз із 1 см³ дистильованої води. Масову частку загального азоту А (%) розраховують за формулою:

$$A = \frac{1,4 \cdot (V_1 - V_0) \cdot 0,2}{m} \quad (2.8)$$

де V_1 – об'єм 0,2 моль/дм³ соляної кислоти, витраченої на титрування дистилату в основному аналізі, см³; V_0 – об'єм 0,2 моль/дм³ соляної кислоти, витраченої на титрування дистилату у контрольному аналізі, см³; m – маса взятого для аналізу кисломолочного напою, г; 1,4 – коефіцієнт перерахунку об'єму кислоти у масову частку загального азоту, $\% \frac{\text{г} \cdot \text{дм}^3}{\text{моль} \cdot \text{см}^3}$; 0,2 – концентрація розчину соляної кислоти, моль/дм³.

Масову частку загального білка МБ (%) розраховують за формулою:

$$\text{МБ} = A \cdot 6,25 \quad (2.9)$$

де A – масова частка загального азоту, %; 6,25 – коефіцієнт для перерахунку масової частки загального азоту на масову частку загального білка, як вказано в Законі України «Про інформацію для споживачів щодо харчових продуктів» від 6 грудня 2018 року № 2639-VIII. Вміст загальних вуглеводів розраховувався «методом різниці», згідно з яким від вмісту сухих речовин віднімають суму вмісту білка, жиру, золи. Слід врахувати, що в розраховані таким чином вуглеводи входять клітковина, пектини та інші речовини, що не засвоюються організмом. За остаточний результат дослідження беруть середнє арифметичне – результатів двох паралельний визначень.

Розходження, що допускається, не повинно перевищувати 0,03 % (Грек та ін., 2016; Орлюк, & Степанищев, 2015).

Кількість молочнокислих мікроорганізмів – для визначення кількості молочнокислих мікроорганізмів готували серію десятикратних розведень досліджуваного зразка. Кожне розведення висівали на агаризоване середовище, специфічне для росту молочнокислих бактерій (MRS-агар). Потім чашки Петрі інкубували в термостаті за оптимальної температури протягом визначеного часу. Після інкубації проводили підрахунок колоній, що виросли на кожній чашці, враховуючи ступінь розведення, та визначали кількість колонієутворюючих одиниць (КУО) в 1 г досліджуваного продукту.

2.4.3. Адаптовані методики дослідження

Перетравлюваність (атакуємість) білків in vitro – суть цього методу полягає у відтворенні умов, що є аналогічними умовам шлунково-кишкового тракту людського організму. Сироватково-рослинної суспензії оцінювали за модифікованою *in vitro* моделлю шлунково-кишкового травлення з поетапною дією ферментів. Шлункову фазу моделювали шляхом додавання пепсину (Sigma-Aldrich, кат. № P7000, активність ≥ 2500 од/мг білка) при рН 2,0–2,2 та інкубації за температури 37 °С протягом 60 хвилин. Після цього здійснювали перехід до кишкової фази, додавали трипсин (Gibco, кат. № 25200056, активність 2500–6000 ВАЕЕ од/мл) при рН 7,5 з подальшою інкубацією ще 60 хвилин при 37 °С. Загальна тривалість ферментативного гідролізу становила 120 хвилин, із фіксацією проб кожні 15 хвилин. Відібрані проби центрифугували, фільтрували та аналізували спектрофотометрично за довжини хвилі 280 нм (прилад КФК-2МП; кварцова кювета 10 мм). Контрольна проба – дистильована вода. Абсорбційні значення фіксували у вигляді середніх значень з трьох паралельних вимірювань. Отримані значення використовували для побудови графіків та розрахунку рівнянь регресії, що відображають динаміку гідролізу білків у кожному із зразків. Коефіцієнт детермінації (R^2) визначали для кількісної оцінки відповідності моделей фактичним даним.

Для визначення концентрації продуктів гідролізу білків використовували калібрувальну криву, побудовану на основі стандартних розчинів у діапазоні концентрацій 1–20 мг/мл. Вимірювання оптичної щільності проводили при довжині хвилі 280 нм у кварцових кюветах (довжина шляху 10 мм). На основі побудованого графіка «оптична щільність – концентрація тирозину» було застосовано функцію, яка дозволила отримати рівняння калібрувальної прямої та коефіцієнт детермінації:

$$A_{280}=0,0192 \cdot C+0,0405 \quad (R_2=0,998), \quad (2.10)$$

де A_{280} — оптична щільність при 280 нм; C — концентрація тирозину, мг/мл.

Визначення активності води (A_w) - відбувалося за допомогою вимірювача водної активності моделі «HygroLab 2» (Rotronic, Швейцарія), що забезпечувало точність $\pm 0,001$ одиниці A_w . Діапазон представлення активності води коливався від 0,00 до 1,00 A_w (еквівалентно 0–100% RH). Перед початком роботи прилад було відкалібровано із використанням спеціального зразка вологості (95% відносної вологості). Експеримент проводили при температурі 20 °C (Sukmanov, Sklyarenko, 2012).

2.4.4. Математично-статистичне оброблення результатів

Для забезпечення точності отриманих даних кожен експеримент повторювали три-п'ять разів. Подальша математична обробка результатів здійснювалася за допомогою програм *Microsoft Excel* та *STATISTIKA (StatSoft)* (Kim, Cho, & Sugihara, 2006).

Одержані результати наведено у формі таблиць та графіків, що полегшує візуалізацію змін досліджуваних показників.

Під час оптимізації параметрів термокислотної коагуляції молочно-рослинної суміші застосовували методи математичного моделювання (метод Бокса-Уілсона на кубі). Визначення функціональних залежностей проводилося методом найменших квадратів. Суть цього способу полягає у знаходженні коефіцієнтів рівняння регресії, які забезпечують мінімальне значення суми квадратів різниць між експериментальними даними (y_e) та значеннями, розрахованими за рівнянням регресії. Під час аналізу отриманих

експериментальних даних було розглянуто ряд потенційних функцій. Для встановлення функціональної залежності, яка найточніше відображає динаміку показників, було розраховано коефіцієнт детермінації (R^2) для кожної функції та обрано оптимальну. При дослідженні лінійних залежностей зростання або спадання функцій описували за допомогою похідної, яка за своїм фізичним змістом є швидкістю зміни. Для параметрів оптимізації було встановлено нульовий рівень факторів, спираючись на апріорні дані та інтервали варіювання, які виходили за межі похибки вимірювань. Обраний нульовий рівень відповідав таким критеріям: у зазначених точках параметри оптимізації набували найкращих значень серед усіх відомих; координати нульового рівня розташовувались у межах області визначення. У якості керуючих факторів, що чинять істотний вплив на якісні характеристики МРК, було обрано: x_1 – кількість сироватково-рослинної суспензії, %, x_2 – гідромодуль сироватково-рослинної суспензії (співвідношення компонентів), x_3 – тривалість самопресування, хв. Як керовані вихідні показники, що найбільш повно відображають специфіку термокислотної коагуляції білків та формування якісних властивостей МРК, розглядали: Y_1 – вихід (маса), %, Y_2 – активну кислотність, од. рН, Y_3 – масову частку вологи, %, Y_4 – вологоутримуючу здатність, %. Аналіз значущості коефіцієнтів рівнянь регресії здійснювали із застосуванням прикладного програмного забезпечення шляхом оцінки адекватності моделей за критерієм Фішера (F_p) відповідно до загальноприйнятих статистичних підходів. Розраховані значення критерію порівнювали з табличним (F_t). Рівняння вважалось адекватним, якщо виконувалась умова $F_p < F_t$, де F_p і F_t – відповідно розраховане та теоретичне значення критерію Фішера. Параметри експерименту становили: $F_t = 3,050$; довірна ймовірність – 4; число ступенів свободи для залишкової дисперсії $SDHA(f_1) = 8$; для експериментальної дисперсії $Сексп(f_2) = 5$.

Експериментальні дані піддавали обробці методами математичної статистики. Було визначено основні статистичні показники, а саме:

- середнє арифметичне вимірювальної величини (x):

$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \quad (2.11)$$

де x_i – данні паралельних визначень; n – кількість визначень.

- відхилення від середньої величини: $\bar{x}_i - x$. (2.12)

$$\text{- дисперсію (} S^2 \text{): } S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1}. \quad (2.13)$$

$$\text{- середнє квадратичне відхилення } \bar{S}: \bar{S} = \sqrt{S^2}. \quad (2.14)$$

$$\text{- похибку середнього арифметичного значення } S_{\bar{x}}: S_{\bar{x}} = \frac{\bar{S}}{\sqrt{n}} \quad (2.15)$$

$$\text{- довірчі границі: верхню та нижню: } \bar{x} \pm \varepsilon_p, \quad (2.16)$$

Значення довірчого інтервалу $\bar{x} \pm \varepsilon_p$ визначали при довірчій ймовірності $V=0,95$. Саме це значення прийняте в хімічних і біологічних рішеннях (Коломієць, та ін., 2009):

$$\varepsilon_p = \frac{t_p \cdot S_{\bar{x}}}{n^{-2}}, \quad (2.17)$$

де ε_p – значення довірчої границі; t_p – критерій Стюдента залежно від числа дослідів для довірчої ймовірності $P=0,05$.

Висновки до розділу II

У другому розділі викладено покроковий план науково-дослідної роботи та розроблено схему виконання експериментальних досліджень. Наведено перелік використаної сировини та матеріалів, деталізовано підготовку зразків сироватково-рослинної суспензії та молочно-рослинних концентратів, охарактеризовано застосоване обладнання. Підібрано й описано методики, які гарантують високу точність вимірювань та отриманих результатів, а також алгоритми математично-статистичної обробки експериментальних даних.

РОЗДІЛ III. РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ОТРИМАННЯ СИРОВАТКОВО-РОСЛИННОЇ СУСПЕНЗІЇ З ЯДЕР ПЛОДІВ *ARACHIS HYPOGAEA*

3.1 Вплив обробки ядер плодів *Arachis hypogaea* на органолептичні показники сироватково-рослинної суспензії

У контексті формування науково обґрунтованого підходу до створення ферментованих молочно-рослинних продуктів, важливим є не лише вибір рослинної сировини, а й визначення раціональних умов її попередньої підготовки. Беручи до уваги результати літературного аналізу, здійсненого в розділі 1, зокрема в пункті 1.6, було обґрунтовано доцільність застосування термічної обробки ядер плодів *Arachis hypogaea* з метою зниження їх алергенного потенціалу, деактивації інгібіторів ферментів та покращення фізико-хімічних властивостей. Встановлено, що температурний режим 120 °C протягом 30–35 хв забезпечує ефективне зниження вмісту антипоживних чинників без втрати функціонально-технологічної цінності білкової сировини. Подальше використання ядер у складі комбінованих молочно-рослинних продуктів вимагає оптимізації умов підготовки, які впливають на однорідність суспензії, органолептичні характеристики та вологоутримувальну здатність подрібнених ядер.

На першому етапі дослідження було вивчено умови замочування ядер плодів *Arachis hypogaea*, як одного з визначальних технологічних етапів, що впливає на якість та стабільність сформованої суспензії для отримання молочно-рослинних концентратів. Зокрема, важливим завданням під час поєднання рослинної сировини з молочною основою є забезпечення масимально однорідної структури суспензії з контрольованим розміром частинок дисперсної фази (у межах 10–60 мкм), що досягається шляхом оптимізації попередньої підготовки рослинної сировини.

Згідно з технологічними вимогами (Onopriichuk, & Skuibida, 2025), ядра плодів арахісу перед механічною обробкою підлягають замочуванню у воді з температурою 20 ± 2 °C протягом 360–660 хв. Цей етап є надзвичайно

важливим для формування якісної суспензії, оскільки насичення ядер вологою зумовлює їх пом'якшення та полегшує процес подрібнення, що, у свою чергу, сприяє отриманню рівномірної структури без наявності великих фрагментів. Крім того, під час замочування активізуються природні ферментативні процеси, здатні частково розщеплювати антипоживні речовини, зокрема фітинову кислоту, тим самим підвищуючи біодоступність мінеральних елементів. Важливим аспектом є й те, що вода сприяє частковому вимиванню гірких і дубильних речовин, покращуючи смакові характеристики продукту (Д'яконова, & Степанова, 2017). Таким чином, попереднє замочування ядер плодів *Arachis hypogaea* у воді є технологічним етапом, що забезпечує однорідність, покращує органолептичні властивості та підвищує харчову цінність сформованої суспензії для отримання концентратів. Тому актуальним є встановлення раціональної тривалості цієї підготовчої операції.

Для визначення раціонального часу попереднього замочування ядер плодів *Arachis hypogaea* було проведено органолептичну оцінку показників за 100-то бальною шкалою, критерії за якими проводилась оцінка, наведені у табл. 3.1 та 3.2.

Таблиця 3.1 – Критерії 100-бальної системи оцінювання впливу тривалості замочування на органолептичні показники ядер плодів арахісу

Показник	Максимальний бал	Характеристика
Смак і запах	25	Чистий, без сторонніх присмаків і запахів, характерний для свіжих ядер плодів арахісу, без згірклого або затхлого запаху
Консистенція	25	Однорідна, без зайвих включень, без гіркуватості, не пересушена і в міру м'яка
Колір та зовнішній вигляд	25	Однорідний, без темних плям, характерного кольору для ядер плодів арахісу

Вологість	25	Відповідає нормативним вимогам, не пересушені, не надмірно вологі
Загальна оцінка	100	

Таблиця 3.2 – Бальна оцінка з урахуванням знижок за невідповідність органолептичних властивостей

Відхилення	Втрата балів
Смак і запах (25 балів)	
Чистий, характерний для ядер плодів арахісу	0
Легкий сторонній присмак або запах	1-2
Відчутна гіркуватість	3-5
Запах затхлості, згіркlostі	6-8
Консистенція (25 балів)	
Однорідна, без дефектів, в міру розм'якшена	0
Невелика кількість механічних пошкоджень	1-2
Відчутні дефекти (тріщини, деформації), не розм'якшена	3-5
Надмірно м'яка або липка структура	6-8
Надмірне розмокання, втрата цілісності	9-10
Колір і зовнішній вигляд (25 балів)	
Однорідний, характерний для ядер плодів арахісу	0
Легкі відхилення в кольорі	1-2
Значна зміна кольору або наявність плям	3-5
Помітне розшарування або морщення ядер	6-8
Вологість (25 балів)	
Відповідає нормі	0
Незначне відхилення	1-2
Надмірна липкість	3-5
Надмірне розмокання, поява слизової поверхні	6-8

Результати дослідження було проаналізовано та представлено у графічному вигляді у формі профілограми на рисунку 3.1.

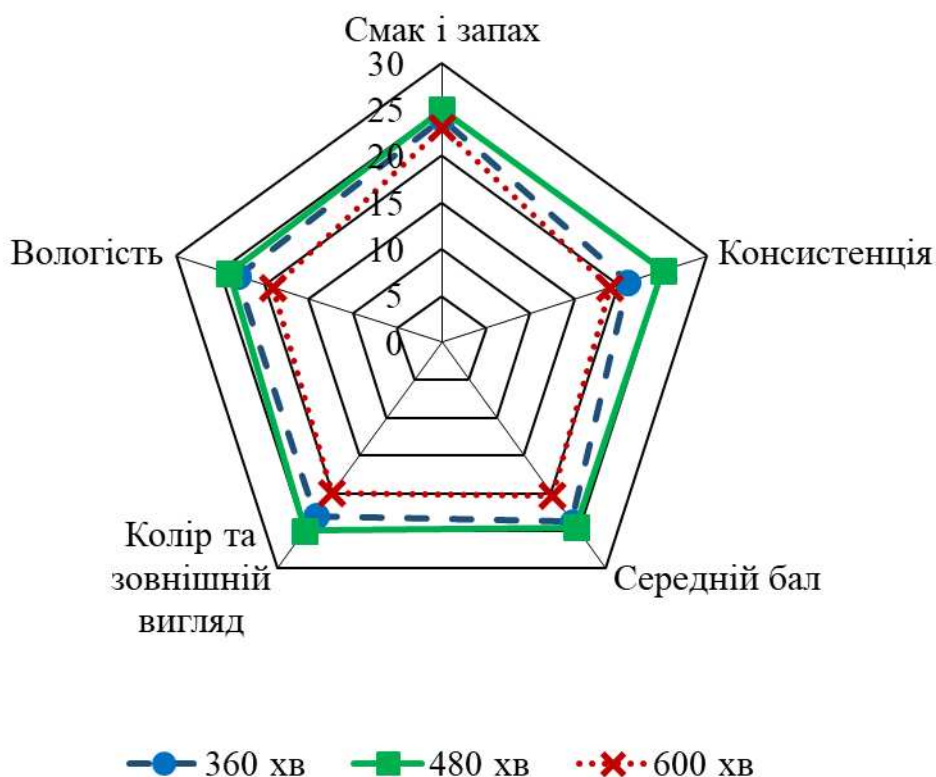


Рисунок 3.1 – Профілограма результатів органолептичної оцінки ядер плодів *Arachis hypogaea* для визначення раціонального часу попереднього замочування

Проведені дослідження підтвердили, що тривалість замочування ядер плодів *Arachis hypogaea* суттєво впливає на їх органолептичні властивості, зокрема смак, консистенцію, колір та вологість. Раціональною тривалістю попереднього замочування за органолептичним оцінюванням визначено 480 хвилин (8 год), за якої було досягнуто максимального сумарного балу – 98 за 100-бальною шкалою. Зразки, підготовлені в цих умовах, характеризувалися чистим смаком і запахом, однорідною консистенцією, привабливим зовнішнім виглядом та відповідною вологістю. Зменшення тривалості замочування до 360 хвилин (6 год) призвело до незначного погіршення окремих показників, зокрема консистенції, але загальна оцінка залишалася високою (95 балів), що свідчить про допустимість такого варіанту в умовах

скороченого технологічного циклу. Замочування упродовж 600 хвилин (10 год) спричинило погіршення всіх досліджуваних органолептичних показників, що відображено в суттєвому зниженні сумарної оцінки до 81 балу. Це свідчить про надмірне розмокання ядер, погіршення консистенції та появу сторонніх смакових відтінків. Таким чином, встановлено доцільність використання замочування тривалістю 480 хв як найбільш ефективного технологічного параметра, що забезпечить належну якість суспензії для подальшого поєднання з молочною основою.

3.2. Визначення раціональних параметрів отримання сироватково-рослинної суспензії

Щоб уникнути утворення густої маслянистої маси під час сухого подрібнення ядер плодів *Arachis hypogaea* цей процес рекомендовано проводити у водному середовищі (Дубініна, Ленерт, & Хоменко, 2016). За таких умов ненасичені тригліцериди переходять у дрібнодисперсні краплі, формуючи класичну емульсію, де жир розподілений у водній фазі. Поряд з цим білки ядер плодів арахісу (глобуліни арахін і кон-арахін), завдяки амфіфільним ділянкам, адсорбуються на межі «жир-вода» й запобігають коалесценції жирових крапель, а полісахариди (крохмаль і клітковина) підвищують в'язкість середовища та обмежують рухливість частинок (Ferreira et al., 2012; Lin, Zhang, & Zhang, 2024). Синергетична взаємодія жирової, білкової й вуглеводної фракцій ядер плодів *Arachis hypogaea* в рідкому середовищі призводить до формування гомогенної та стійкої суспензії, де частинки рівномірно дисперговані в білково-полісахаридній матриці. Це зумовлює необхідність вибору оптимального дисперсійного середовища для подальшого формування гомогенної суспензії. У якості дисперсійного середовища було розглянуто два варіанти – вода питна та молочна сироватка. Проведений аналіз показав доцільність використання саме молочної підсирної сироватки, оскільки застосування води не сприятиме збагаченню суспензії харчовими речовинами та призведе до зниження її поживної цінності.

На відміну від води, молочна сироватка є цінною біологічною сировиною з високою харчовою та функціональною цінністю. Вона містить 92,8–95,8 % води та 4,2–7,2 % сухих речовин, серед яких особливе значення мають сироваткові білки (0,5–1,1 %), переважно альбуміни та глобуліни, що мають високий ступінь засвоюваності й повноцінний амінокислотний склад (Korhonen & Pihlanto, 2006; Дейниченко, Гузенко, Дмитревський, Золотухіна, & Перекрест, 2022; Савченко, Грек, & Красуля, 2015). Вуглеводний компонент сироватки представлений переважно лактозою (3,9–4,9 %), яка є основним джерелом харчування для молочнокислих бактерій, які використовуються для ферментації (Турчин, Гамкало, & Войчишин, 2017). Жирова фракція сироватки становить 0,04–0,6 %, однак її харчова цінність зумовлена присутністю комплексу вітамінів (В₁, В₆, В₁₂, С, А, D, Е), а також органічних кислот (молочної, лимонної, нуклеїнової) у межах 0,1–0,4 %. Крім того, сироватка є джерелом макроелементів (калій, натрій, кальцій, магній) і мікроелементів (залізо, мідь, манган, кобальт, йод, кремній, германій) (Smithers, 2008). Її біологічну активність підсилюють пептиди, що утворюються в процесі гідролізу білків і виявляють антиоксидантні, імуномодулювальні та антимікробні властивості (Юкало & Дацишин, 2017). Використання молочної сироватки як дисперсійного середовища не лише забезпечують стабільність і однорідність суспензії, але й значно підвищують її харчову цінність, що є важливим при створенні молочно-рослинних продуктів із збагаченим нутрієнтним складом. Таким чином, застосування молочної сироватки є доцільним вибором, який сприяє підвищенню харчової цінності продукту, збереженню його біоактивних компонентів.

На наступному етапі дослідження було визначено раціональне співвідношення сироватки молочної підсирної до кількості ядер плодів *Arachis hypogaea*, а також встановлення тривалості подрібнення суміші. Ефективність перемішування в процесі отримання суміші безпосередньо залежить від досягнення ступені її однорідності, ключовим показником якого є рівномірність складу. Забезпечення однорідності суміші вимагає

ретельного врахування таких факторів, як величина різниці густин компонентів, вміст сухих речовин, а також розмір частинок (Бойко, et.al., 2021). Варто зазначити, що значна розбіжність в показниках вказаних факторів може суттєво ускладнити досягнення необхідної ступені однорідності суміші (Малежик, 2021).

Визначення вмісту сухих речовин у сироватково-рослинній суспензії є важливим показником для забезпечення ефективного рівномірного перемішування при поєднанні всіх складових в молочно-рослинній суміші. Розуміння концентрації сухих компонентів в СРС дозволить досягти однорідної консистенції, запобігти надмірному розрідженню або згущенню суміші при додаванні суспензії до молочної основи, що сприятиме отриманню якісних продуктів з нормативними органолептичними та фізико-хімічними показниками. Тому метою було отримання сироватково-рослинної суспензії з масовою часткою сухих речовин близькою до цього показника знежиреного молока. Ядра плодів *Arachis hypogaea* заливали підсирною молочною сироваткою у співвідношеннях 1:3, 1:5 та 1:7, після чого суміші піддавали подрібненню до гомогенного стану в диспергаторі зі швидкістю 1000 c^{-1} упродовж від 1 до 8 хв. Отримані суспензії фільтрували, після чого в них визначали масову частку сухих речовин з метою подальшого аналізу ефективності процесу диспергування та впливу параметрів на якість суспензії. Результати дослідження представлено на рисунку 3.2. Виявили чітку тенденцію до зниження масової частки сухих речовин у суспензії при співвідношенні сироватки до ядер плодів *Arachis hypogaea* понад 1:5. Найвищі значення сухих речовин були зафіксовані при співвідношенні 1:3, проте такий варіант значно перевищує нормативні значення сухих речовин у знежиреному молоці. Це, у свою чергу, може спричинити надмірну концентрацію дисперсної фази, утворення осаду та призведе до погіршення консистенції готового продукту.

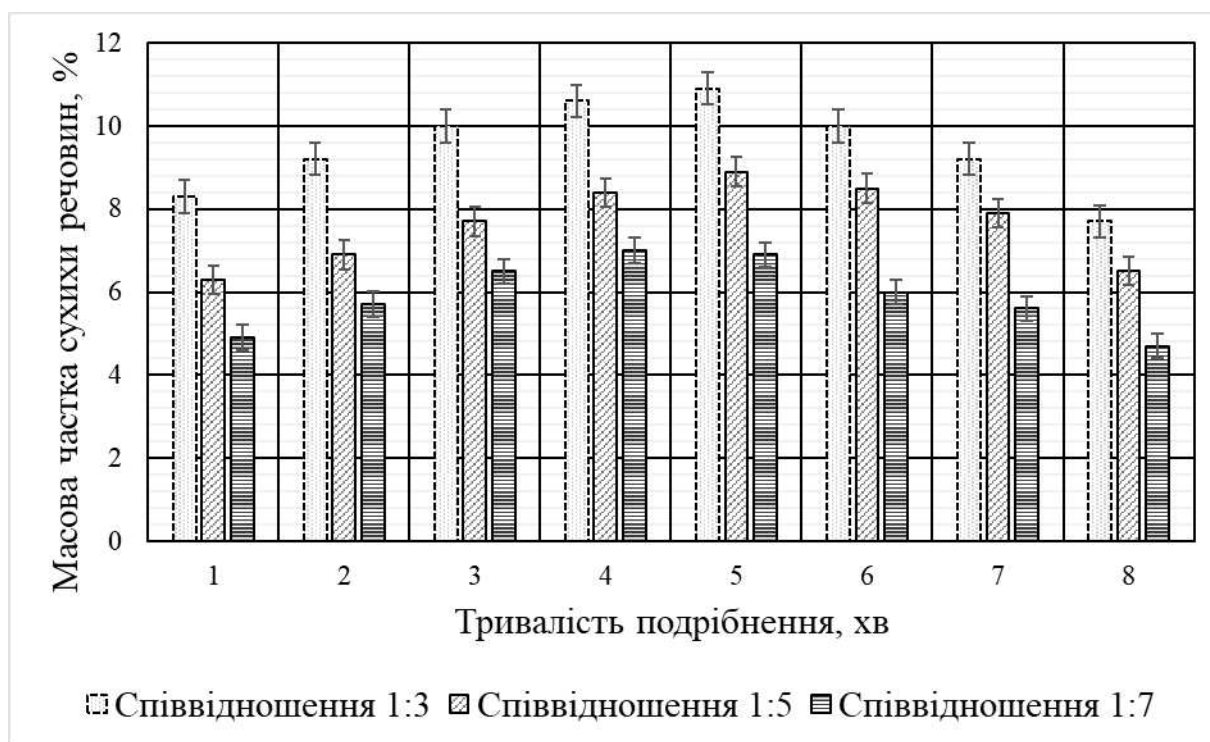


Рисунок 3.2 – Масова частка сухих речовин у сироватково-рослинних суспензіях

Співвідношення 1:5 виявилося найбільш раціональним, забезпечуючи баланс між концентрацією поживних речовин та стабільністю суспензії, що дозволяє досягти цільового рівня, наближеного до характеристик знежиреного молока. Щодо впливу тривалості подрібнення, встановлено, що зі збільшенням часу обробки зростає і вміст сухих речовин у суспензії. Це пов'язано з тим, що при короткочасному подрібненні частинки залишаються більшими, і під час фільтрування значна їх частина затримується, зменшуючи загальну концентрацію. Найбільш помітне зростання вмісту сухих речовин спостерігалось до 5–6 хв подрібнення; подальше збільшення тривалості не давало суттєвого приросту, що свідчить про досягнення стабільного стану суспензії.

Таким чином, з огляду на технологічні вимоги, органолептичні характеристики та економічну доцільність, раціональним варіантом для отримання стабільної сироватково-рослинної суспензії є співвідношення 1:5 за тривалості подрібнення 4–5 хв, що забезпечує масову частку сухих речовин, близьку до показників знежиреного молока та зумовлює отримання

суспензії, оптимальної для подальшого поєднання з молочною основою для сумісного концентрування білків різними способами.

На наступному етапі дослідження було поставлено завдання щодо підбору та наукового обґрунтування температурного режиму диспергування сироватково-рослинної суспензії. Вибір оптимальної температури є важливим для досягнення максимального вмісту білка в рідкій фазі, запобігання утворенню осаду та поліпшення текстурних та смакових властивостей суспензії. Також відомо, що за температури 30–35 °C відбувається перехід жирової фракції ядер плодів *Arachis hypogaea*, особливо ненасичених тригліцеридів, у рідкий стан (Дубініна, Ленерт, & Хоменко, 2016). Це сприяє їх більш рівномірному розподілу в середовищі та утворенню стабільної системи з покращеними текстурними характеристиками. Отже діапазон температури для досліджень обирали вище за вказану. З цією метою зразки сироватково-рослинних суспензій, отриманих у співвідношеннях 1:3, 1:5 та 1:7, піддавали диспергуванню за температур 50 °C, 60 °C, 70 °C, 80 °C і 90 °C з подальшим визначенням масової частки білка в рідкій фазі (рис. 3.3).

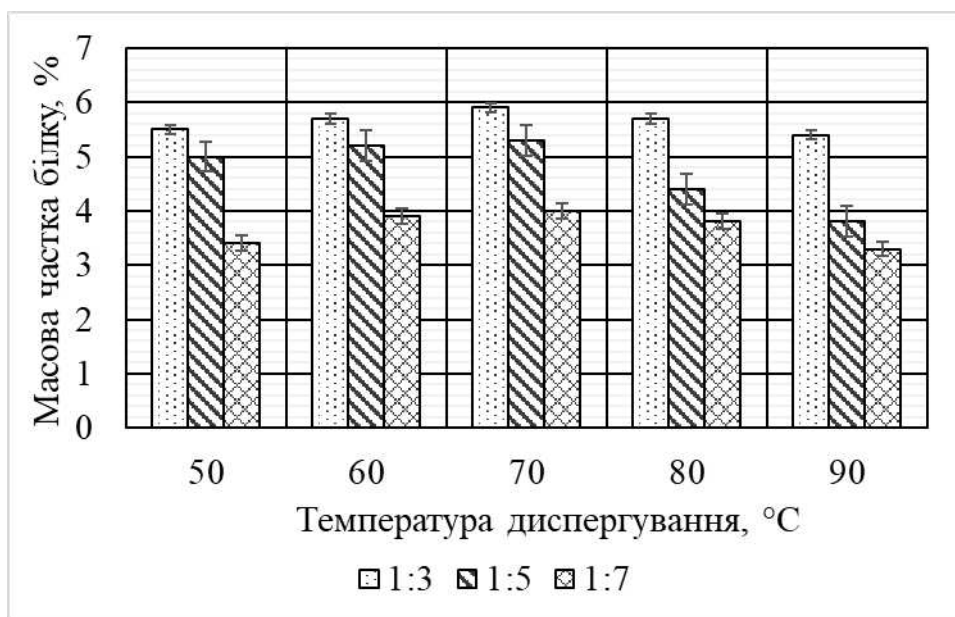


Рисунок 3.3 – Залежність масової частки білку в сироватково-рослинних суспензіях від температури диспергування та співвідношення компонентів

На підставі отриманих експериментальних даних встановлено, що оптимальною температурою диспергування сироватково-рослинної суспензії є 70 °С. Саме за цієї температури досягається максимальний вміст білка в рідкій фазі, що свідчить про ефективне вилучення білкових компонентів із сировини. Подальше підвищення температури (до 80–90 °С) супроводжується частковою денатурацією білків, що знижує їх концентрацію в суспензії. Отримані результати мають практичне значення для розробки технологічного процесу виробництва молочно-рослинного концентрату з ядрами плодів *Arachis hypogaea*.

Температура 70 °С відповідає вимогам безпечної термічної обробки молочних і рослинних інгредієнтів, що дозволяє забезпечити мікробіологічну безпеку концентрату без істотних втрат поживних речовин. У цьому температурному діапазоні відбувається ефективне знищення патогенних мікроорганізмів, таких як *Salmonella spp.*, *Listeria monocytogenes* та *Escherichia coli* (Столярчук, & Остап'юк, 2012).

З технологічної точки зору, температура 70 °С є доцільною, оскільки дозволяє уникнути інтенсивної денатурації білків молочної сироватки та ядер плодів арахісу, тим самим зберігаючи їх харчову цінність. У цьому температурному режимі відбувається повний перехід жирової фракції ядер плодів *Arachis hypogaea*, особливо ненасичених тригліцеридів, у рідкий стан (Дубініна, Ленерт, & Хоменко, 2016).

Отже, на основі проведених досліджень встановлено, що раціональними параметрами отримання сироватково-рослинної суспензії є співвідношення між молочною підсирною сироваткою та ядрами плодів *Arachis hypogaea* – 1 : 5, подрібнення суміші необхідно проводити в диспергаторі зі швидкістю 1000 с⁻¹ протягом 4–5 хв за температури 70 °С. Вказані параметри дозволяють отримати СРС з масовою часткою сухих речовин – близько 8,5–9 %, що відповідає нормативним значенням цього показника для знежиреного молока (≈9%), й гарантує гомогенність та стійкість суспензії.

3.3. Оцінювання перетравлюваності сироватково-рослинної суспензії *in vitro*

Раціональне поєднання білкових компонентів тваринного та рослинного походження у складі молочно-рослинної суспензії вимагає не лише оптимізації технологічних параметрів її формування, а й експериментального обґрунтування харчової та біологічної цінності шляхом оцінювання показників перетравлюваності білків *in vitro* під дією протеолітичних ферментів (Пухляк, Скорченко, & Вітт, 2003). Метою дослідження є встановлення впливу термічної обробки на зниження вмісту антипоживних чинників і покращення сприйнятливості білків до дії протеолітичних ферментів без втрати функціонально-технологічної цінності білкової сировини.

Для порівняння було використано два зразки сироватково-рослинної суспензії: один на основі ядер плодів *Arachis hypogaea*, які не піддавались попередній термічній обробці, і другий – з ядрами, обробленими за температури 120 °C упродовж 30–35 хв. Зразки суспензії готували відповідно до встановлених вище технологічних параметрів: співвідношення молочної сироватки до ядер плодів *Arachis hypogaea* – 1:5, тривалість подрібнення – 4–5 хв, температура диспергування – 70 °C. Експеримент проводився за моделлю шлунково-кишкового травлення *in vitro*, що включає двофазний ферментативний гідроліз: на першому етапі використовували пепсин (за рН 2,0–2,2), на другому – трипсин (за рН 7,5). Упродовж дослідження зразки інкубували за температури 37 °C, а відібрані проби піддавали центрифугуванню та фільтрації. Методика передбачає поетапне використання пепсину, як основного ферменту шлункового середовища, та трипсину, який бере участь у розщепленні білків у тонкому кишечнику. Вивчення динаміки ферментативного гідролізу дає змогу кількісно оцінити доступність білкових фракцій до розщеплення та, відповідно, їх потенційну біодоступність в умовах травлення.

Контроль динаміки гідролізу білкових компонентів сироватково-рослинної суспензії здійснювали спектрофотометрично шляхом вимірювання оптичної щільності фільтрату при довжині хвилі $\lambda=280$ нм (A_{280}). Проби відбирали на часових інтервалах від 0 до 120 хв кожні 15 хв. Визначені значення використовували для побудови графіків та розрахунку рівнянь регресії з відповідними коефіцієнтами детермінації (R^2), що характеризують ступінь і динаміку гідролізу білків у досліджуваних системах.

Результати вимірювань оптичної щільності наведені в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Оптична щільність фільтратів сироватково-рослинних суспензій із ядер плодів *Arachis hypogaea*

Час гідролізу, хв	Оптична щільність (A_{280}) фільтратів сироватково-рослинних суспензій із ядер плодів <i>Arachis hypogaea</i> за довжини хвилі $\lambda=280$ нм	
	без термічної обробки	термічно оброблені за температури 120 °C протягом 30–35 хв
0	0,087	0,084
15	0,134	0,158
30	0,191	0,232
45	0,243	0,309
60	0,286	0,366
75	0,299	0,382
90	0,312	0,399
105	0,318	0,408
120	0,325	0,416

Визначення концентрації тирозину (C) проводили за допомогою калібрувальної кривої, побудованої на основі стандартних розчинів тирозину в діапазоні концентрацій 1–20 мг/мл. На рисунку 3.4 представлено графік калібрувальної кривої, що відображає лінійну залежність оптичної щільності від концентрації тирозину в розчині.

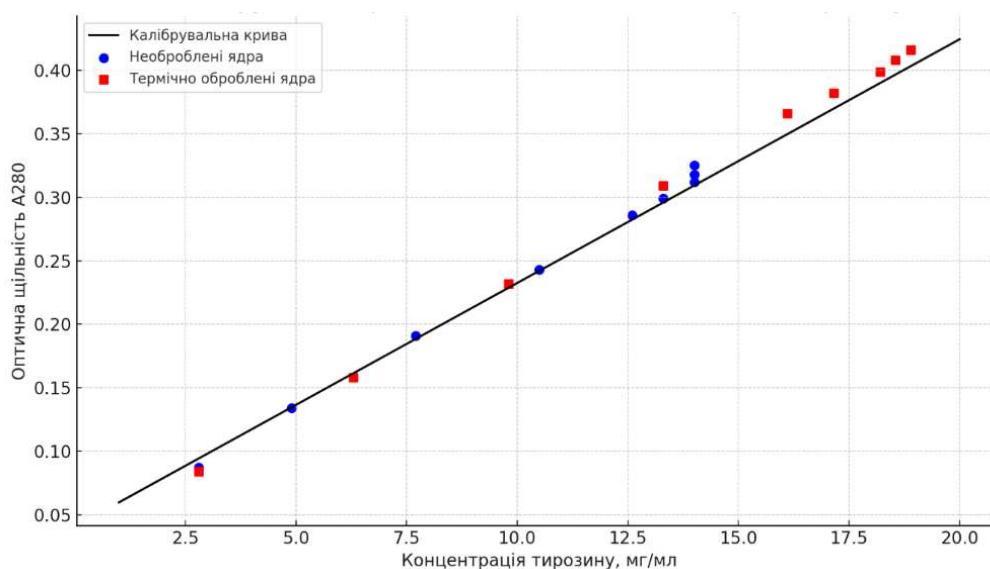
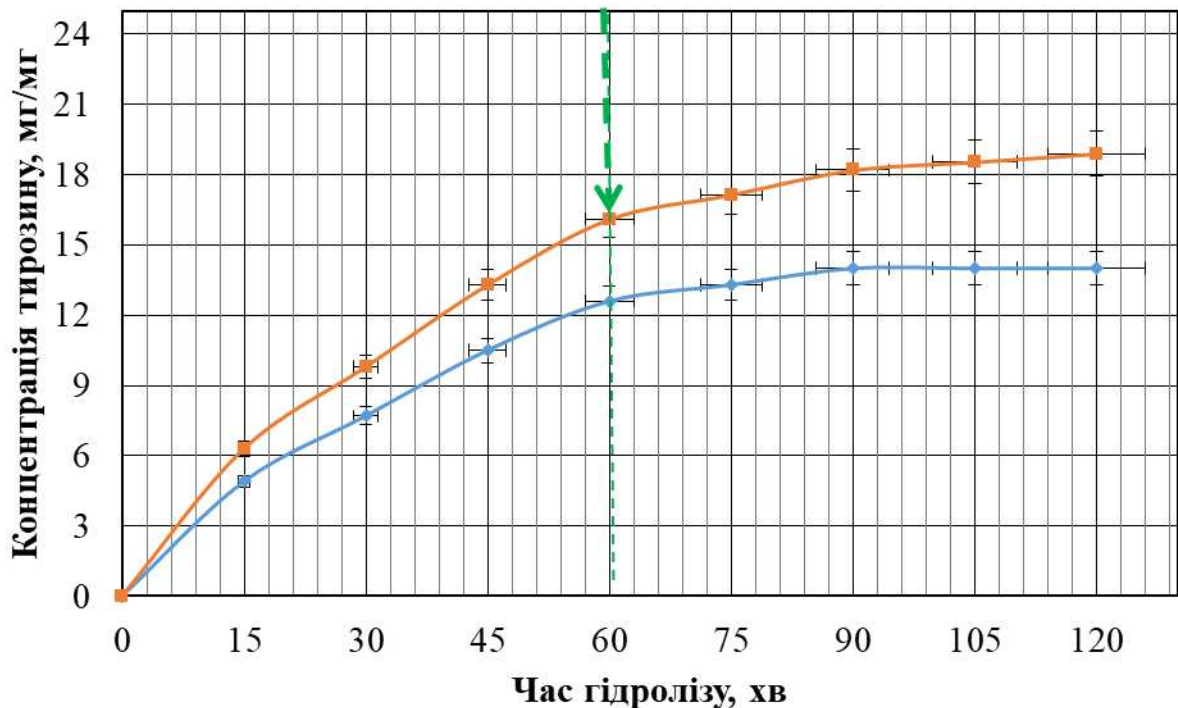


Рисунок 3.4 – Калібрувальна крива для визначення концентрації тирозину

Згідно з калібрувальною кривою, оптична щільність фільтратів зразків, що піддавались ферментативному гідролізу, була використана для обчислення концентрації тирозину. Отримані результати показують динаміку накопичення продуктів гідролізу, а саме тирозину, в залежності від часу, що дозволяє оцінити ефективність дії ферментів на білкові фракції та представлені на рис. 3.5.

Отримані дані наочно демонструють, що термічна обробка ядер плодів *Arachis hypogaea* за температури 120 °C протягом 30–35 хв значно покращує сприйнятливості білків до дії протеолітичних ферментів. Це підтверджується більшою концентрацією тирозину у фільтраті сироватково-рослинної суспензії з термічно обробленими ядрами, що на 40–45 % вища, ніж у необроблених термічно зразках, на всіх етапах гідролізу. Зокрема, концентрація тирозину в термічно оброблених зразках досягла 18 мг/мл через 120 хв після початку гідролізу, порівняно з 13 мг/мл для необроблених ядер. Це вказує на ефективніше розщеплення білків у зразках, що пройшли термічну обробку, порівняно з необробленими ядрами, що підтверджує позитивний вплив термічного оброблення на рослинні білки (Дубініна, та ін., 2017).



Концентрація тирозину у фільтратах сироватково-рослинних суспензіях ядер плодів *Arachis hypogaea*:

— без термічної обробки

— термічно оброблені за температури 120 °С протягом 30–35 хв

—> Примітка. Стрілка показує момент введення трипсину

Рисунок 3.5 – Концентрація тирозину у фільтратах сироватково-рослинних суспензіях ядер плодів *Arachis hypogaea*

Для оцінки залежності концентрації тирозину від часу гідролізу білків було використано метод лінійної регресії до експериментальних даних. Лінійне рівняння регресії дає змогу описати взаємозв'язок між часом гідролізу (по осі X) і концентрацією тирозину (по осі Y) для кожного зразка сироватково-рослинної суспензії.

На основі даних, отриманих під час експерименту, було пораховані лінійні рівняння для фільтратів сироватково-рослинних суспензій із ядер плодів *Arachis hypogaea*:

✓ необроблених:

$$y=0,141x+4,902, R^2=0,987 \quad (3.1)$$

✓ термічно оброблених за температури 120 °С протягом 30–35 хв:

$$y=0,135x+5,336, R^2=0,990 \quad (3.2)$$

Коефіцієнти детермінації (R^2) для обох рівнянь вказують на високу ступінь кореляції між виміряною оптичною щільністю та концентрацією тирозину, що підтверджує адекватність лінійної моделі для опису отриманих даних.

Коефіцієнт нахилу (a) в лінійному рівнянні регресії характеризує швидкість зміни концентрації тирозину в залежності від часу гідролізу. Для необроблених ядер коефіцієнт нахилу складає 0,141, що вказує на більш швидкий приріст концентрації тирозину на початкових етапах гідролізу. Це свідчить про те, що процес гідролізу білків у зразках без термічної обробки відбувається швидше на ранніх етапах, хоча кінцева концентрація тирозину в них виявляється меншою. Для термічно оброблених ядер коефіцієнт нахилу 0,135 свідчить про повільніший приріст концентрації тирозину, проте на пізніших етапах гідролізу досягається більш висока концентрація. Це підтверджує ефективність термічної обробки у покращенні доступності білка до дії ферментів.

Перехоплення на осі Y (b) визначає початкову концентрацію тирозину в зразку, тобто значення при нульовому часі гідролізу. Для необроблених ядер перехоплення складає 4,902, а для термічно оброблених – 5,336. Вищий показник для термічно оброблених ядер свідчить про більшу початкову концентрацію тирозину в цих зразках. Це може вказувати на те, що термічна обробка знижує вміст антипоживних чинників і покращує виділення тирозину з білка, що в кінцевому результаті дозволяє збільшити його концентрацію після гідролізу.

Отже, термічна обробка ядер плодів *Arachis hypogaea* за температури 120 °C протягом 30–35 хв покращує біодоступність білків до дії протеолітичних ферментів. Це підтверджується вищою концентрацією тирозину у зразках з термічно обробленими ядрами порівняно з необробленими. Отримані результати підтверджують ефективність термічної

обробки для покращення перетравлюваності білків *in vitro* під впливом протеолітичних ферментів у сироватково-рослинній суспензії.

Висновки до розділу III

Досліджено вплив тривалості попереднього замочування ядер плодів арахісу на їх органолептичні показники. Раціональною тривалістю встановлено 480 хв (8 год), що забезпечує найвищу загальну оцінку (98 балів) за критеріями смаку, консистенції, зовнішнього вигляду та вологості.

На основі порівняльного аналізу дисперсійних середовищ визначено доцільність використання молочної сироватки замість води. Молочна сироватка є джерелом біоактивних білків, мінералів, вітамінів та лактози, що забезпечує не лише підвищену харчову цінність, але й стабільність, однорідність та емульсійні властивості суспензії.

Визначено раціональні технологічні параметри формування сироватково-рослинної суспензії. Найбільш раціональним є співвідношення компонентів – 1 : 5 (ядра : сироватка), тривалість подрібнення – 4–5 хв. За таких умов забезпечується масова частка сухих речовин (8,4–8,9 %), наближена до рівня знежиреного молока (8,5–9 %).

Встановлено, що за температури 70 °C забезпечується раціональний перехід сухих речовин ядер плодів *Arachis hypogaea* в дисперсійне середовище, ефективну дезактивацію патогенних мікроорганізмів та формування стабільної структури. Цей режим не призводить до небажаної денатурації білків і сприяє рівномірному диспергуванню в білково-полісахаридній матриці.

Доведено, що термічна обробка ядер плодів *Arachis hypogaea* за температури 120 °C протягом 30–35 хв покращує перетравлюваність білків у сироватково-рослинній суспензії *in vitro*. Це підтверджується вищими концентраціями тирозину у зразках з термічно обробленими ядрами порівняно з необробленими, що свідчить про покращену біодоступність білків під впливом протеолітичних ферментів.

РОЗДІЛ IV. ОБГРУНТУВАННЯ СПОСОБІВ ОТРИМАННЯ ФЕРМЕНТОВАНОГО МОЛОЧНО-РОСЛИННОГО БІЛКОВОГО КОНЦЕНТРАТУ

4.1. Оптимізація параметрів термокислотного осадження молочно-рослинних сумішей

Оптимізація параметрів процесу осадження білків молочно-рослинної суміші є основним етапом у забезпеченні високої ефективності формування білкового згустку з заданими якісними характеристиками. Використання термокислотного методу коагуляції білків дозволяє цілеспрямовано впливати на фізико-хімічні властивості молочно-рослинних концентратів шляхом варіювання технологічних факторів: кількості сироватково-рослинної суспензії, гідромодуля та тривалості самопресування. Для визначення оптимальних умов процесу застосовано метод математичного моделювання на основі повнофакторного експерименту, що забезпечує побудову регресійних залежностей та дозволяє прогнозувати поведінку системи в умовах змінного факторного простору.

Молочною основою обрано знежирене молоко з масовою часткою сухих речовин – 9,0 %, білку – 3,6 %, активною кислотністю – $6,5 \pm 0,1$ од. рН. Молочно-рослинні суміші (МРС) готували із знежиреного молока та сироватково-рослинної суспензії (СРС), що мала активну кислотністю $6,7 \pm 0,1$ од. рН, з розмірами дисперсної фази на рівні від 10 до 60 мкм. Для отримання останньої плоди *Arachis hypogaea* попередньо замочували та залишали набухати на 480 хв (8 год), промивали 2–3 рази, заливали підсирною молочною сироваткою у співвідношенні до плодів 5:1 за температури 70 °С, після чого отриману суміш подрібнювали до гомогенного стану протягом 4–5 хв в диспергаторі зі швидкістю обертання 1000 с^{-1} . Отриману сироватково-рослинну суміш, фільтрували та вносили у підготоване знежирене молоко.

Молочно-рослинний концентрат отримували термокислотним осадженням білків молочно-рослинної суміші, послідовність здійснена

способом описаним вище в розділі 2.3.2. Кислотність та кількість коагулянту підбирали таким чином, щоб досягти рН суміші в межах 5,3...5,8, що відповідає ізoeлектричній точці казеїну та основних фракцій молочних та рослинних білків. За даних умов реакція середовища досягає ізoeлектричної точки білків, руйнуються сольові зв'язки його частинок та утворюється згусток, який далі піддавали самопресуванню. Контроль – молочно-білковий концентрат, отриманий без додавання сироватково-рослинної суспензії.

Для оптимізації параметрів отримання молочно-рослинних концентратів (МРК) шляхом термокислотної коагуляції білків молочно-рослинної суміші було застосовано повнофакторний експеримент (ПФЕ). Побудовано параметричну схему процесу отримання МРК методом термокислотного осадження білків (рис. 4.1), у межах якої визначено вхідні (керуючі) та вихідні (керовані) фактори, а також обґрунтовано критерії оптимізації.



Рисунок 4.1 – Параметрична схема процесу отримання МРК термокислотним осадженням білків молочно-рослинної суміші

Варіювання кількості молочно-рослинної суспензії здійснювали в межах від 20 до 40 % із кроком 10 %, гідромодуль СРС змінювали у співвідношеннях 1:3, 1:5 та 1:7, а тривалість самопресування коливалася від 10 до 30 хв з інтервалом 10 хв.

Оптимізацію процесу одержання МРК методом термокислотного осадження білків проводили з використанням математичного моделювання за методом Бокса–Уільсона на кубі. Побудову функціональних залежностей здійснено методом найменших квадратів, що передбачає розрахунок коефіцієнтів рівняння регресії шляхом мінімізації суми квадратів відхилень експериментальних значень (Y_e) від теоретично розрахованих за рівнянням регресії відповідно до формул (4.1), (4.2) та (4.3).

$$Y = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + b_3 \cdot x_3 + b_{12} \cdot x_1 \cdot x_2 + b_{23} \cdot x_2 \cdot x_3 + b_{13} \cdot x_1 \cdot x_3 + b_{123} \cdot x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \quad (4.1)$$

$$b_i = \frac{\sum_{i=1}^N x_{iu} \cdot y_u}{N}, \quad (4.2)$$

$$b_{ij} = \frac{\sum_{i=1}^N x_{iu} \cdot x_{ju} \cdot y_u}{N}, \quad (4.3)$$

де x_{ij} – значення змінної у відповідному стовпчику плану експерименту; y_u – результат u -го дослід; N – загальне число дослідів ($N = 8$); u – номер варіанту дослід; i – номер фактору; j – номер фактору, відмінний від i .

Для встановлення оптимальних умов отримання молочно-рослинних концентратів методом термокислотного осадження білків молочно-рослинної суміші був реалізований повнофакторний експеримент. Математична обробка результатів дозволила сформулювати аналітичні залежності у вигляді адекватних рівнянь регресії, які описують вплив основних технологічних чинників – кількості сироватково-рослинної суспензії (x_1), гідромодуля (співвідношення компонентів) СРС (x_2) та тривалості самопресування (x_3) – на вихід Y_1 (формула 4.4), активну кислотність Y_2 (формула 4.5), масову частку води Y_3 (формула 4.6) та вологоутримуючу здатність Y_4 (формула 4.7) МРК. Для кожного з отриманих рівнянь була підтверджена їх адекватність за умовою, що $F_p < F_t$ де F_p і F_t – відповідно розраховане та теоретичне значення критерію Фішера, що засвідчує відповідність моделей

реальним процесам. Рівняння враховують як основні ефекти досліджуваних факторів (x_1 , x_2 , x_3), так і їх взаємодійні та квадратичні залежності.

$$Y_{I(\text{вихід})} = 13.416 - 3.1675 \cdot x_1 + 4.6236 \cdot x_2 + 2.2040 \cdot x_3 - 1.5775 \cdot x_1 \cdot x_2 - 1.0086 \cdot x_2 \cdot x_3 - 3.0879 \cdot x_1 \cdot x_3 + 5.9429 \cdot x_1^2 + 14.6335 \cdot x_2^2 + 11.7776 \cdot x_3^2, \quad (4.4)$$

$$B_{кр i} = 0,380; B_{кр ii} = 0,978; F_r = 0,213.$$

Вільний член 13,416 є базовим рівнем виходу, який можна очікувати за відсутності впливу незалежних змінних. Негативний коефіцієнт при x_1 (−3,1675) свідчить про те, що зі збільшенням гідромодуля вихід знижується, оскільки розведення суміші зменшує концентрацію білків і жирів, що ускладнює осадження. Позитивний коефіцієнт при x_2 (4,6236) демонструє, що збільшення кількості СРС суттєво підвищує вихід, оскільки більша кількість сухих речовин сприяє збільшенню кількості осаду. Коефіцієнт при x_3 (2,2040) вказує на позитивний вплив тривалості самопресування, адже довший процес сприяє кращому видаленню вологи та підвищенню виходу. Взаємодійні ефекти також відіграють важливу роль. Негативний коефіцієнт при $x_1 \cdot x_2$ (−1,5775) свідчить про те, що взаємодія між гідромодулем і кількістю СРС знижує ефективність осадження. Подібним чином негативний коефіцієнт при $x_2 \cdot x_3$ (−1,0086) показує, що при збільшенні кількості СРС і тривалості самопресування може виникати перенасичення системи, що знижує вихід. Взаємодія між x_1 і x_3 також має негативний вплив (−3,0879), що свідчить про необхідність оптимального підбору гідромодуля і тривалості самопресування для покращення виходу. Квадратичні члени відображають нелінійні залежності. Позитивний коефіцієнт при x_1^2 (5,9429) вказує на те, що існує оптимальне значення гідромодуля, яке максимізує вихід. Значний позитивний вплив x_2^2 (14,6335) свідчить про важливість оптимального рівня СРС для підвищення виходу. Позитивний коефіцієнт при x_3^2 (11,7776) підтверджує ефективність збільшення тривалості самопресування, хоча і в межах оптимального значення. Отже, рівняння показує, що для досягнення максимального виходу необхідно забезпечити

баланс між гідромодулем, кількістю СРС і тривалістю самопресування, враховуючи як прямі, так і взаємодійні ефекти.

$$Y_2(pH) = 5.3902 - 1.0482 \cdot x_1 + 0.4454 \cdot x_2 + 0.7078 \cdot x_3 + 0.0725 \cdot x_1 \cdot x_2 - 0.4104 \cdot x_2 \cdot x_3 - 0.2050 \cdot x_1 \cdot x_3 + 1.2706 \cdot x_1^2 + 2.8033 \cdot x_2^2 + 1.9539 \cdot x_3^2, \quad (4.5)$$

$$B_{кр i} = 0,161; B_{кр ii} = 0,036; B_{кр iii} = 0,087; F_r = 1,107$$

Константа 5,3902 відображає початковий рівень рН, що спостерігається за відсутності впливу факторів. Негативний коефіцієнт при x_1 (–1,0482) свідчить про те, що збільшення гідромодуля сприяє зниженню рН, що може бути зумовлено меншою кількістю сухих речовин суміші. Позитивний коефіцієнт при x_2 (0,4454) вказує на те, що зі збільшенням кількості СРС активна кислотність зростає, оскільки рослинні білки містять амінокислоти, які впливають на рН. Коефіцієнт при x_3 (0,7078) свідчить про позитивний вплив тривалості самопресування на кислотність, що може бути пов'язано зі змінами структури білків і виділенням речовин з підвищеним вмістом кислоти. Ефекти взаємодії свідчать про більш складні залежності. Позитивний коефіцієнт при $x_1 \cdot x_2$ (0,0725) вказує на слабкий позитивний вплив взаємодії між гідромодулем і кількістю СРС. Натомість негативні коефіцієнти при $x_2 \cdot x_3$ (–0,4104) та $x_1 \cdot x_3$ (–0,2050) свідчать про те, що при надмірному поєднанні кількості СРС із тривалістю самопресування або гідромодуля з тривалістю кислотність може знижуватися. Квадратичні члени в рівнянні показують нелінійні ефекти. Позитивний коефіцієнт при x_1^2 (1,2706) свідчить про те, що є певне оптимальне значення гідромодуля для досягнення більш високої активної кислотності. Значний позитивний вплив x_2^2 (2,8033) підтверджує, що кількість СРС є важливим фактором, який впливає на рН. Квадратичний член x_3^2 (1,9539) також вказує на те, що тривалість самопресування позитивно впливає на кислотність у межах оптимального значення. Загалом, рівняння демонструє, що активна кислотність значною мірою залежить від кількості СРС і тривалості самопресування, тоді як гідромодуль має негативний вплив. Взаємодії між факторами можуть мати як позитивний, так і негативний ефекти, залежно від

їх комбінацій. Для досягнення оптимального рівня рН необхідно враховувати як прямі, так і взаємодійні ефекти.

$$Y_{3(W)} = 82.2035 - 9.2774 \cdot x_1 - 1.9996 \cdot x_2 - 0.1329 \cdot x_3 - 6.8050 \cdot x_1 \cdot x_2 - 2.1104 \cdot x_2 \cdot x_3 - 2.9817 \cdot x_1 \cdot x_3 + 13.8341 \cdot x_1^2 + 33.3881 \cdot x_2^2 + 30.1849 \cdot x_3^2, \quad (4.6)$$

$$B_{кр i} = 0,17; B_{кр ii} = 0,202; F_r = 0,053$$

Вільний член 82,2035 представляє початкове значення масової частки вологи, яке спостерігається без впливу незалежних змінних. Негативний коефіцієнт при x_1 (−9,2774) вказує на те, що збільшення гідромодуля сприяє зменшенню масової частки вологи. Це можна пояснити тим, що при збільшенні гідромодуля білки і жири осідають менш ефективно, що зменшує здатність утримувати воду. Коефіцієнт при x_2 (−1,9996) також негативний, але менший за значенням, що свідчить про зниження масової частки вологи при збільшенні кількості СРС. Негативний коефіцієнт при x_3 (−0,1329) демонструє, що збільшення тривалості самопресування незначно знижує вологість. Ефекти взаємодії демонструють більш комплексні залежності. Негативний коефіцієнт при $x_1 \cdot x_2$ (−6,8050) свідчить про те, що взаємодія між гідромодулем і кількістю СРС зменшує масову частку вологи, ймовірно, через зниження здатності білків утримувати воду. Негативний коефіцієнт при $x_2 \cdot x_3$ (−2,1104) вказує на те, що при поєднанні більшої кількості СРС і тривалішого самопресування зменшується вміст вологи. Подібний негативний ефект спостерігається і при взаємодії $x_1 \cdot x_3$ (−2,9817). Квадратичні члени демонструють наявність оптимальних значень кожного фактору. Позитивний коефіцієнт при x_1^2 (13,8341) свідчить про те, що для гідромодуля існує оптимальне значення, яке сприяє максимізації утримання вологи. Значні позитивні коефіцієнти при x_2^2 (33,3881) та x_3^2 (30,1849) підтверджують, що як кількість СРС, так і тривалість самопресування мають важливе значення для здатності концентрату утримувати вологу. Загалом, рівняння показує, що масова частка вологи зменшується при збільшенні гідромодуля, кількості СРС та тривалості самопресування. Однак для

досягнення оптимальної вологості необхідно враховувати взаємодії між факторами та їх квадратичні ефекти.

$$Y_4 (B_{Y3}) = 84.1000 - 15.0714 \cdot x_1 + 8.1691 \cdot x_2 + 8.9998 \cdot x_3 + 3.0975 \cdot x_1 \cdot x_2 - 5.8641 \cdot x_2 \cdot x_3 - 4.2857 \cdot x_1 \cdot x_3 + 18.4696 \cdot x_1^2 + 40.4773 \cdot x_2^2 + 28.0679 \cdot x_3^2 \quad (4.7)$$

$$B_{кр i} = 0,095; B_{кр ii} = 0,191; F_r = 0,001$$

Константа 84,1000 відображає початкове значення вологоутримуючої здатності в умовах відсутності впливу незалежних змінних. Негативний коефіцієнт при x_1 (–15,0714) свідчить про те, що зі збільшенням гідромодуля вологоутримуюча здатність значно знижується. Це може бути зумовлено тим, що більший гідромодуль зменшує концентрацію білків і жирів, які сприяють зв'язуванню води. Позитивний коефіцієнт при x_2 (8,1691) вказує на те, що збільшення кількості СРС сприяє підвищенню вологоутримуючої здатності, оскільки білки рослинного походження мають високу гідрофільність. Коефіцієнт при x_3 (8,9998) також позитивний, що вказує на позитивний вплив тривалості самопресування на здатність концентрату утримувати вологу, оскільки триваліше пресування сприяє видаленню вільної води та збереженню зв'язаної. Ефекти взаємодії відображають більш складні зв'язки. Позитивний коефіцієнт при $x_1 \cdot x_2$ (3,0975) свідчить про те, що взаємодія між гідромодулем і кількістю СРС частково компенсує негативний вплив гідромодуля. Натомість негативні коефіцієнти при $x_2 \cdot x_3$ (–5,8641) та $x_1 \cdot x_3$ (–4,2857) вказують на те, що комбінація більшої кількості СРС або гідромодуля з тривалістю самопресування може зменшувати вологоутримуючу здатність. Квадратичні члени підкреслюють наявність оптимальних значень факторів. Позитивний коефіцієнт при x_1^2 (18,4696) свідчить про те, що існує оптимальний рівень гідромодуля, який забезпечує максимальну вологоутримуючу здатність. Ще більший позитивний вплив при x_2^2 (40,4773) підтверджує, що кількість СРС є основним фактором, що впливає на здатність концентрату утримувати воду. Позитивний коефіцієнт при x_3^2 (28,0679) вказує на те, що тривалість самопресування також має

значний вплив у межах оптимальних значень. Загалом, рівняння показує, що для досягнення високої вологоутримуючої здатності необхідно забезпечити оптимальний баланс між гідромодулем, кількістю СРС і тривалістю самопресування, враховуючи як прямі, так і взаємодійні ефекти.

Комплексний характер змін фізико-хімічних показників молочно-рослинних концентратів, сформованих у процесі термокислотної коагуляції білків молочно-рослинних сумішей, представлено на рис. 2 а, б, в, г у вигляді тривимірних графіків (3D-поверхонь відгуку), що ілюструють залежність вихідних (керованих) параметрів від варіацій керуючих технологічних факторів.

У формуванні структури молочно-рослинних концентратів (МРК) ключову роль відіграють процеси структуроутворення та синерезису, що відбуваються за участю білкових компонентів. Отримані МРК є полідисперсними колоїдними системами, в яких дисперсійне середовище представлено сироваткою, а дисперсна фаза утворена білками та жирами як рослинного, так і тваринного походження. Стійкість білкових глобул визначається їх конформаційною структурою, електростатичним зарядом та наявністю гідратної оболонки (Lamichhane et al., 2018). Зміна концентрації окремих компонентів молока, а також виду й режимів коагуляції білків, обумовлює трансформацію характеру зав'язків між білковими структурами.

Для ефективного виділення молочних і рослинних білків необхідне порушення щонайменше двох факторів, що забезпечують їх стабільність, що досягається шляхом теплової денатурації. Цей процес супроводжується зміною просторової конфігурації, ступеня гідратації та агрегатного стану білкових частинок, що внаслідок цього втрачають стабільність.

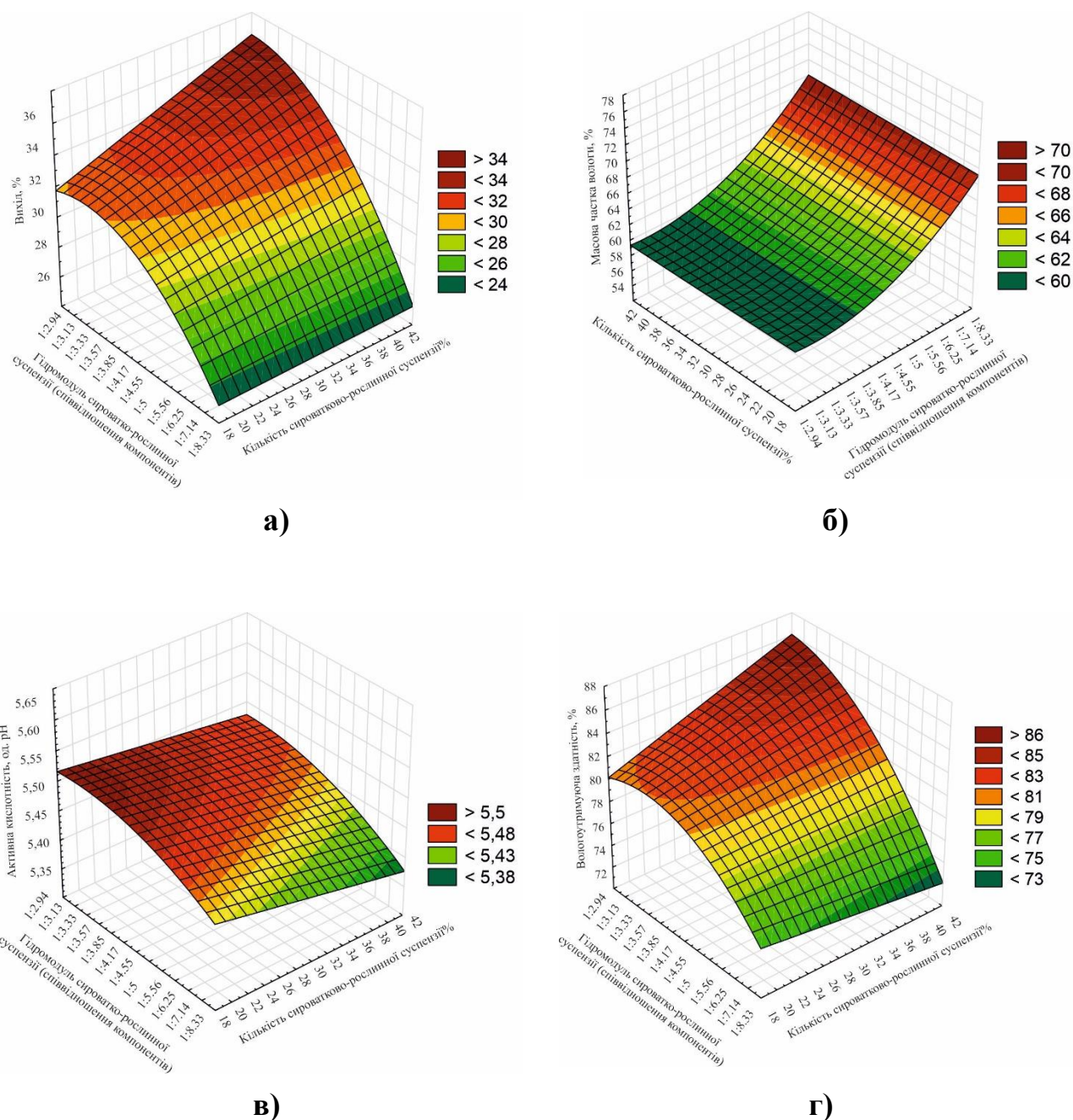


Рисунок 4.2 – Поверхні відгуку зміни виходу (а), масової частки води (б), активної кислотності (в), вологоутримуючої здатності (г) МРК залежно від параметрів оброблення молочно-рослинної суміші

Ступінь термічної денатурації білкових глобул у молочно-рослинних системах залежить від температурного режиму та тривалості теплової обробки (Osintsev et al., 2018). Використання визначених температурно-часових параметрів забезпечує одночасну коагуляцію білків молока й білків рослинного походження. Як зазначають Nazarenko et al. (2023), попередня

обробка рослинних білків сприяє більш ефективному утворенню згустку в молочно-рослинній суміші. У процесі гідролізу рослинних білків утворюються пептиди та амінокислоти, що формують стабільні комплекси з казеїновими міцелами, покращуючи структуру згустку.

Проведені дослідження показали, що під час проведення термокислотного осадження білків молочно-рослинної суміші зі збільшенням кількості внесення сироватко-рослинної суспензії до знежиреного молока і зміною рівня її гідромодуля (1:3) та збільшенням тривалості самопресування, вихід МРК (рис. 2 а) збільшується, що в цілому характеризується підвищенням переходу як білків молока – казеїнів, альбумінів, глобулінів, так і рослинних білків – глютелінів. Основна частка жиру, що міститься в плодах *Arachis hypogaea* концентрується разом з білками під час осадження, інша – відходить у сироватку. Внаслідок нагрівання молочно-рослинних сумішей до температури 92 ± 2 °C в присутності коагулянту (кислої сироватки) білки співосаджуються в єдиному білковому комплексі, до складу якого входить також і жирова складова.

Коефіцієнт переходу вищезазначених складових під час коагуляції білків МРС, що містить 30 % сироватково-рослинної суспензії з гідромодулем (співвідношення компонентів) 1:3 становив близько 36 %. Такі параметри на 10 – 12 % вище, ніж осадження білків суміші зі знежиреного молока та сироватко-рослинної суспензії в кількості 20 % з гідромодулем 1:5 та 1:7.

Науковці Tsisaryk et al. (2023) у своїй розробці також зазначають підвищення виходу дослідних зразків сирного продукту, що обумовлено структуроутворюючими властивостями, які характерні для рослинних білків. Це сприяє утворенню щільної консистенції згустку і більш повному використанню складових частин сировини. Збільшення виходу сирного продукту обумовлено тим, що рослинні білки, мають гідрофільні властивості та переводять воду у зв'язаний стан. При цьому вони набухають, збільшується їхня маса та об'єм, що збільшує вихід продукту на 7-9 %.

Аналізуючи рівняння регресії та графічну інтерпретацію зміни масової частки вологи МРК (рис. 2 б) можна зробити висновок, що збільшення кількості сироватково-рослинної суспензії у суміші, від 20 до 40 % з кроком варіювання 10%, зменшення гідромодуля від 1:7, 1:5 до 1:3 та тривалості самопресування 10, 20, 30 хв, призводить до зниження масової частки вологи у концентратах. Під час отримання МРК гідромодуль СРС майже в однаковій мірі впливає на кінцевий результат. Максимальне значення даного показника МРК (78 %) спостерігається при обробленні молочно-рослинної суміші, що містить 20 % сироватково-рослинної суспензії з гідромодулем 1:7 та тривалістю самопресування 10 хв, за умови обробки суміші (30 % СРС, гідромодуль 1:3) волога МРК знижується на 22 %. Отримані значення масової частки вологи концентратів варіювалися від 28,28 % до 41,36 % та знаходилися в діапазоні, отриманому Arise et al. (2019) при виробництві білкового продукту із суміші соєвого та мигдального молока. Adebola et al. (2023) підкреслили, що вміст вологи має важливе значення у формуванні консистенції та текстурних властивостей білкових продуктів. Balogun, et al. (2019) повідомили, що більш високий вміст вологи може сприяти зростанню та поширенню мікроорганізмів і, таким чином, скорочувати термін придатності сиру. Високі значення вологості зразків сиру можуть бути пов'язані з гідрофільною природою рослинного білка.

Аналіз впливу змінного факторного простору на активну кислотність МРК вказує, що значення цього показника, в першу чергу, залежить від величини рН складеної молочно-рослинної суміші та коагулянту: значення рН знижується при зміні гідромодуля в діапазоні від 1:7 до 1:3 і збільшенні кількості МРС з 20 % до 40 %.

В результаті аналізу активної кислотності МРК була встановлена загальна тенденція – при збільшенні кількості сироватково-рослинної суспензії від 20 % до 40 % та зміни її гідромодуля від 1:7 до 1:3 рН лінійно знижувався (рис. 2 в). Встановлено, що додавання 30 % сироватково-рослинної суспензії зі співвідношенням її компонентів 1:3 та тривалістю самопресування

отриманих концентратів протягом 30 хв забезпечило найнижче значення активної кислотності МРК на рівні 5,35. Порівнюючи отримані значення активної кислотності з результатами рН Adebola et al. (2023) можна підтвердити вищезазначену тенденцію до зниження кислотності продукту зі збільшенням частки внесення рослинного молока, а зазначені результати близькі. Tsisaryk et al. (2023) відзначає, що із збільшенням частки рослинної добавки спостерігали зниження активної кислотності продукту від 5,22 в контрольному зразку до 5,11-4,96 од рН у дослідних зразках. Даний факт можна пояснити присутністю великої кількості кислих амінокислот у складі рослинних білків.

Математична модель, що описує зміну вологоутримуючої здатності МРК (рис. 2 г) показує пряму залежність показника від кількості СРС у складі молочно-рослинної суміші та її гідромодуля. Максимальним значенням вологоутримуючої здатності на рівні 88 % характеризувалися зразки МРК, отримані за найвищих умов експерименту – термокислотним осадженням молочно-рослинної суміші, що містить 30 % СРС з гідромодулем 1:3 з наступним самопресуванням згустку тривалістю 30 хв. Це пояснюється тим, що величина іонної адсорбції білків змінюється зі зміною реакції середовища. У ізоелектричній точці, коли ступінь дисоціації молекул білка мінімальний і заряд білкової молекули близький до нуля, здатність протеїну зв'язувати воду найменша. При зсуві рН середовища в ту чи іншу сторону від ізоелектричної точки посилюється дисоціація основних або кислотних груп білка, збільшується заряд білкових молекул, посилюється гідратація білка. Відбувається взаємодія між к-казеїном і рослинними білками (глютелінами), за рахунок залишків Н-груп та інших гідрофобних зв'язків (Shaghaghian et al., 2022).

Зміна масової частки вологи та вологоутримуючої здатності у концентратах, отриманих термокислотним осадженням білків молочно-рослинної суміші, не відповідають отриманим результатам даних показників у науковій розробці Borges et al. (2024), та може розглядатися як результат

безперервної взаємодії між білками, за рахунок зменшення вмісту гідратованої води навколо міцел казеїну. Із збільшенням кількості СРС та зміни її гідромодуля зростає міцність зв'язків між білковими частинками, глютеліни поєднуються між собою та з іншими білками через дисульфідні зв'язки, формуючи міцну тривимірну білкову мережу, в результаті чого легко вивільнюється сироватка, що міститься в її проміжках.

Найменший вихід – 22 % спостерігався при осадженні білків молочно-рослинної суміші, що містить 20 % сироватко-рослинної суспензії з гідромодулем (співвідношенням компонентів) 1:7 та тривалістю самопресування 10 хв. Так процес проходив за рахунок початкової денатурації рослинних білків, які осідаючи на поверхню міцел казеїну, підвищують їх гідрофільність, знижуючи при цьому ступінь осадження. Найнижче значення активної кислотності МРК – 5,35 отримано при обробці молочно-рослинної суміші з вмістом 30 % СРС та гідромодулем 1:3. Найменший вплив на вологоутримуючу здатність МРК (72 %) відзначено за наступних умов отримання концентратів: 20 % СРС з гідромодулем (1:7) та тривалістю самопресування 10 хв.

Порівняння отриманих в ході досліджень даних та результатів, опублікованих зазначеними вченими, показує, що результати визначення виходу та фізико-хімічних властивостей молочно-рослинних продуктів, а також описані особливості застосовуваних технологічних процесів не є суперечливими та обумовлені, головним чином, через відмінності в рослинній сировині, що використовується в порівнюваних дослідженнях (Onopriichuk, & Skuibida, 2024).

Отже, результати проведеного повнофакторного експерименту із застосуванням математичного моделювання дозволили кількісно охарактеризувати вплив основних технологічних факторів – кількості сироватково-рослинної суспензії, гідромодуля та тривалості самопресування – на вихід, активну кислотність, масову частку вологи та вологоутримуючу здатність молочно-рослинних концентратів. Побудовані рівняння регресії

виявились статистично адекватними, що підтверджується критерієм Фішера, та слугують основою для аналітичного опису функціонування системи. Встановлені закономірності дають змогу визначити оптимальні умови формування молочно-рослинного білкового згустку, що є передумовою для подальшого удосконалення технології ферментованих молочно-рослинних концентратів із заданими функціонально-технологічними властивостями.

4.2. Дослідження процесу ферментації молочно-рослинних концентратів отриманих методом термокислотного осадження

Одним із визначальних напрямів у розробленні технології ферментованих молочно-рослинних продуктів є забезпечення ефективного перебігу молочно-кислого бродіння в молочно-рослинному білковому концентраті, отриманому методом термокислотного осадження. Такий підхід дозволяє активізувати протеолітичні та ліполітичні процеси, що сприяє формуванню характерного аромату, текстури, підвищенню харчової й біологічної цінності готового продукту. З цією метою досліджено особливості ферментації молочно-рослинних концентратів із використанням заквасок прямого внесення.

Вибір заквасочних культур для ферментації молочно-рослинних концентратів обумовлюється низкою основних параметрів, що визначають функціонально-технологічні властивості кінцевого продукту. Основними критеріями відбору слугували інтенсивність кислотоутворення, здатність до синтезу летких ароматичних сполук, висока протеолітична активність, а також комплексна взаємодія між компонентами закваски (Zourari, Accolas, & Desmazeaud, 1992; Leroy & De Vuyst, 2004). Перевага надавалась комбінаціям штамів, які демонструють синергічну дію, зокрема у напрямі стимуляції росту, ферментативної активності та конкурентного витіснення небажаної мікрофлори. Такі властивості є ключовими у контексті перетворення білкового субстрату, формування органолептичного профілю продукту, стабілізації структури та підвищення мікробіологічної безпеки.

З огляду на вимоги до ефективності процесу ферментації, було обрано препарат *Probat 222* виробництва компанії *Danisco (Chr. Hansen Group)*, що містить активні штами *Lactococcus lactis subsp. lactis*, *Lactococcus lactis subsp. cremoris*, *Lactococcus diacetylactis*, *Leuconostoc mesenteroides subsp. cremoris*. Ці культури широко застосовуються у виробництві кисломолочних продуктів завдяки високій адаптивності до умов зниженої рН, помірного вмісту лактози та наявності білкових компонентів як тваринного, так і рослинного походження. Їх ферментативна система характеризується здатністю до інтенсивного протеолізу казеїнів та гідролізу низькомолекулярних пептидів, що сприяє розвитку цільового смакового профілю та поліпшенню доступності амінокислот (Barukčić, Keškić, Jakopović, Karlović, & Božanić, 2020; Katsiari, Kondyli, & Voutsinas, 2009). Високий рівень протеолітичної активності вказаних мікроорганізмів є ключовим для забезпечення глибокої біотрансформації білкового субстрату, що, в свою чергу, позитивно впливає на текстуру, ароматичний профіль та біологічну цінність готового продукту. Крім того, *Lactococcus lactis subsp. cremoris* демонструє виражену антагоністичну активність по відношенню до контамінаційної мікрофлори, що підвищує мікробіологічну стабільність продукту під час зберігання. Ймовірно, комбіноване використання зазначених культур дозволить оптимізувати ферментаційний процес у системах з високим вмістом нестандартної сировини, зокрема рослинного походження, що було досліджено під час сквашування молочно-рослинних концентратів, отриманих методом термокислотного осадження.

Згідно рекомендацій виробника обрано дозування закваски *Probat 222* на рівні 5–20 DCU на 100 дм³ молока. З метою оцінки ефективності ферментації молочно-рослинних концентратів, отриманих методом термокислотного осадження, досліджували вплив дози інокуляції заквасочної культури *Probat 222*, яку вносили у кількостях 5, 10 та 20 DCU. Внесення закваски здійснювали після охолодження згустку до температури 35–37 °С – оптимального діапазону для росту мезофільної молочнокислої мікрофлори

(Martins et al., 2019). Для забезпечення рівномірного розподілу інокуляту по всьому об'єму молочно-рослинного білкового концентрату для ферментації проводили перемішування впродовж 5–10 хв за низької швидкості, що дозволяє уникнути деструкції білкової матриці згустку та зберегти її колоїдну стабільність. Надмірний механічний вплив у цей період небажаний, оскільки може спричинити флокуляцію білкових агрегатів і порушити однорідність системи.

Після внесення закваски зразки інкубували у термостатованих умовах за температури 35–37 °С. Такий температурний режим забезпечує оптимальний темп молочнокислого бродіння та сприяв вираженій метаболічній активності *Lactococcus lactis* у межах початкової активної кислотності субстрату. Контрольним зразком слугував молочно-білковий концентрат, що не містив сироватково-рослинної суспензії, і використовувався для порівняння динаміки росту мікрофлори та оцінки якісних змін у структурі продукту в результаті ферментації.

Кінетика розвитку молочнокислих мікроорганізмів під час ферментації білкових концентратів, показана на рис. 4.3, свідчить про суттєвий вплив дози інокуляції на швидкість росту мікрофлори. У контрольному зразку, в якому не було додано сироватково-рослинної суспензії, відмічено низьку метаболічну активність бактеріальних клітин – чисельність життєздатних клітин досягала лише 5,5 log КУО/г за 8 годин. Це свідчить про обмеженість живильного середовища для зростання молочнокислих бактерій та про неефективність автогенних процесів сквашування в подібній матриці, що узгоджується з даними сучасних досліджень щодо недостатнього вмісту вільних аміногруп і пептидів у концентраті без внесення зовнішніх мікробних агентів (Soomro, Masud, & Anwaar, 2021).

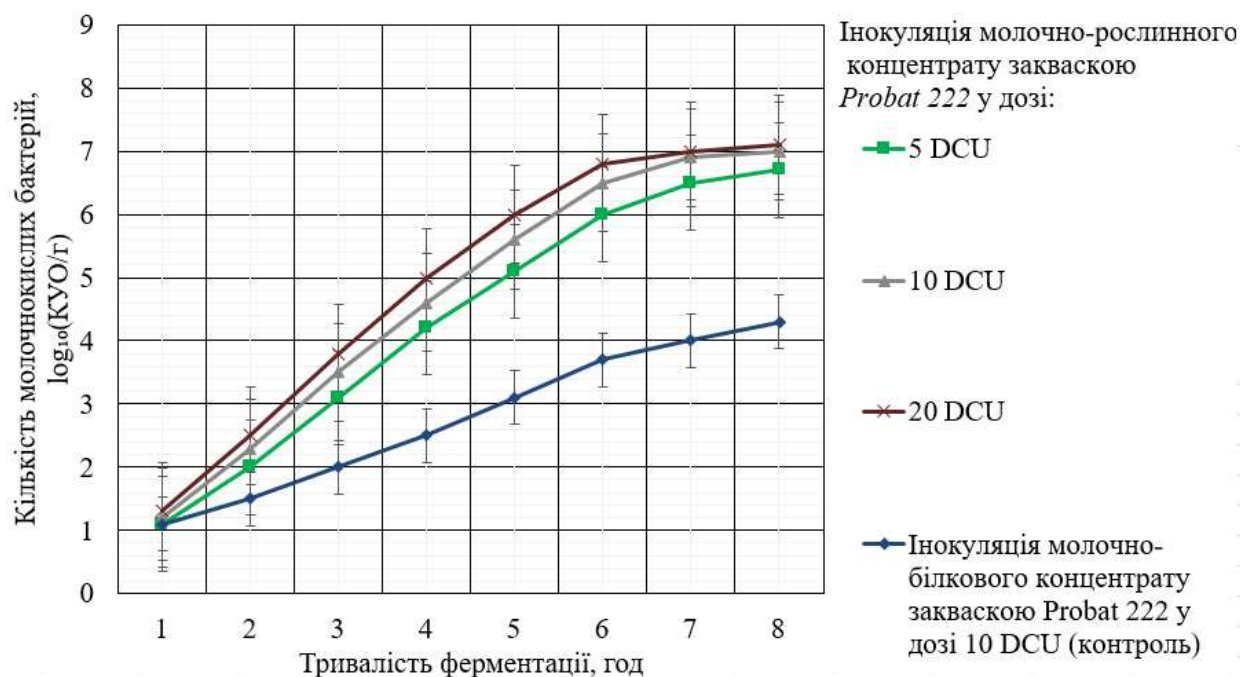


Рисунок 4.3. Динаміка росту молочнокислих бактерій під час ферментації концентратів молочно-білкового та молочно-рослинного залежно від дози інокуляції заквасочної культури *Probat 222*

Варіант із внесенням закваски в концентрації 5 DCU демонстрував помірний рівень приросту клітин. Хоча спостерігалось поступове зростання чисельності бактерій, досягнення рівня 6 log КУО/г фіксувалось лише на 5–6 годині ферментації, що вказує на уповільнений темп кислотоутворення та можливу затримку у фазі логарифмічного росту. Цей ефект може бути обумовлений як низькою інокуляційною дозою, так і конкурентним середовищем, сформованим білково-жировою структурою концентрату (Papadimitriou et al., 2016).

Максимальну швидкість росту мікрофлори спостерігали при концентрації закваски 20 DCU, бактеріальні клітини досягали 6 log КУО/г уже на 4-й годині ферментації, це вказує що із збільшенням дози закваски інтенсифікується процес молочнокислого бродіння. Проте надмірне накопичення органічних кислот за таких умов може призвести до небажаного прискореного зниження рН і формування надмірно кислого смакового

профілю, що, у свою чергу, може негативно вплинути на органолептичні показники концентрату.

Оптимальні результати отримано при концентрації закваски 10 DCU, яка забезпечила досягнення критичного рівня мікрофлори ($5-6 \log \text{ КУО/г}$) у межах 4–5 годин. Такий режим ферментації дозволяє досягти технологічної стабільності без ризику надмірного кислотоутворення й водночас забезпечити відповідну текстуру, смак і мікробіологічну безпеку ферментованого концентрату. Подібний баланс між часом інкубації та активністю заквасок вважається раціональним для виробництва ферментованих молочно-рослинних продуктів.

Таким чином, результати досліджень свідчать про доцільність використання заквасок прямого внесення для ферментації молочно-рослинних концентратів, отриманих методом термокислотного осадження. Встановлено, що застосування закваски *Probat 222 (TM DANISCO)* у концентрації 10 DCU забезпечує оптимальні умови для активного розвитку молочнокислої мікрофлори, досягнення необхідного рівня мікробіологічної активності ($5-6 \log \text{ КУО/г}$) упродовж 4–5 год інкубації, без надмірного зниження рН, що гарантує стабільність органолептичних та структурно-механічних характеристик продукту. Отримані результати підтверджують ефективність обраного підходу до ферментації білкових концентратів комбінованого складу та створюють підґрунтя для подальшого удосконалення технології ферментованих молочно-рослинних продуктів з підвищеною біологічною цінністю.

4.3 Уточнення технологічних параметрів кислотно-сичужної коагуляції молочно-рослинних сумішей

Для отримання молочно-рослинних концентратів кислотно-сичужним методом постала необхідність визначити максимальну кількість заміни знежиреного молока на сироватково-рослинну суспензію з ядрами плодів *Arachis hypogaea* в сумішах для ферментації. З цією метою готували модельні зразки із знежиреного молока та сироватково-рослинної суспензії у

співвідношенні компонентів 9:1, 4:1, 7:3, 3:2, що відповідно становить кількість суспензії на рівні 10 %, 20 %, 30 % та 40 %. Активна кислотність суспензії становить $6,7 \pm 0,1$ од. рН. Такий підхід дозволив оцінити вплив вмісту рослинної сировини на процеси ферментації та показники якості отриманих концентратів. Для забезпечення співставлення результатів на цьому етапі дослідження використовували заквасочний препарат *Probat 222* у дозах інокуляції (5, 10 та 20 DCU), що й на попередньому етапі, описаному в п. 4.2. Молокозсідальний фермент *CAGLIO Marschall TM «Danisco»* додавали згідно рекомендацій виробника, водний розчин 40%-го хлористого кальцію із розрахунку 20-40 г безводної солі на 100 кг молока. Вивчали особливості спільного розвитку заквасочних мікроорганізмів у молочно-рослинній суміші з різною концентрацією сироватково-рослинної суспензії (CPC). Інтенсивність мікробіологічних процесів, що суттєво впливає на властивості рослинно-молочного концентрату, зокрема інтенсивність смаку та аромату, структурно-механічні характеристики і рівень активності, регулювали шляхом варіювання дози інокуляції та початкового співвідношення штамів у складі заквасочного препарату.

Пастеризацію підготовленої молочно-рослинної суміші здійснювали за температури 74–76 °C з витримкою 20–30 с. Такий режим забезпечує коагуляцію термолабільних сироваткових білків, зокрема β -лактоглобуліну, що в комплексі сприяє підвищенню білкового виходу в готовому концентраті. Після пастеризації суміш охолоджували до 35–37 °C, що є оптимальним температурним режимом для розвитку основних культур закваски – мезофільних молочнокислих стрептококів (*Lactococcus lactis*, *L. cremoris*, *L. diacetylactis*), які забезпечують активне кислотоутворення з початку сквашування.

У процесі виготовлення дослідних зразків закінчення стадії сквашування визначали візуально – за утворенням щільного згустку та досягненням певного рівня активної кислотності. Відомо, що при досягненні рН $4,6 \pm 0,5$, який відповідає ізоелектричній точці казеїну, відбувається масова

коагуляція молочних білків. Коагуляція супроводжується гелеутворенням, обумовленим дією молочної кислоти, що накопичується внаслідок метаболізму лактози. Підвищення кислотності середовища спричиняє зниження електростатичного заряду міцел казеїну, які при вище вказаному рН середовища втрачають свою стабільність і розчинність. У цих умовах іонізований кальцій, присутній у вигляді фосфатних і органічних сполук, переходить у сироватку, що провокує деструкцію казеїнових міцел та їх подальше агрегування у вигляді згустку (Horne, 2018).

Активну кислотність згустків визначали кожної години, що дозволяло відстежити динаміку процесу коагуляції. Контрольним зразком слугував молочно-білковий концентрат, отриманий зі знежиреного молока без додавання сироватково-рослинної суспензії.

Побудовано графіки зміни активної кислотності дослідних зразків молочно-рослинних сумішей під час сквашування залежно від дози інокуляції заквасочного препарату *Probat 222* та вмісту сироватково-рослинної суспензії з ядра плодів *Arachis hypogaea*. Результати наведені на рис. 4.4 та 4.5. Графіки відображають динаміку зниження рН у процесі ферментації, що є результатом метаболізму молочнокислих бактерій із утворенням органічних кислот, переважно молочної (Вогнівенко, Шерман, & Ланевич, 2024).

У контрольному зразку, який містив виключно знежирене молоко без додавання сироватково-рослинної суспензії, динаміка зниження рН була менш вираженою порівняно з дослідними зразками. Навіть за умови інокуляції у дозі 20 DCU рівень активної кислотності за 8 год був не нижче 4,4–4,6. Це явище пояснюється високою буферною ємністю молока, яка уповільнює зниження рН у початкові години ферментації. Крім того, відсутність рослинної компоненти з доступними низькомолекулярними сполуками, які могли б стимулювати стартову активність мікрофлори, також впливає на тривалість лаг-фази та загальну динаміку сквашування (Silva et al., 2018).

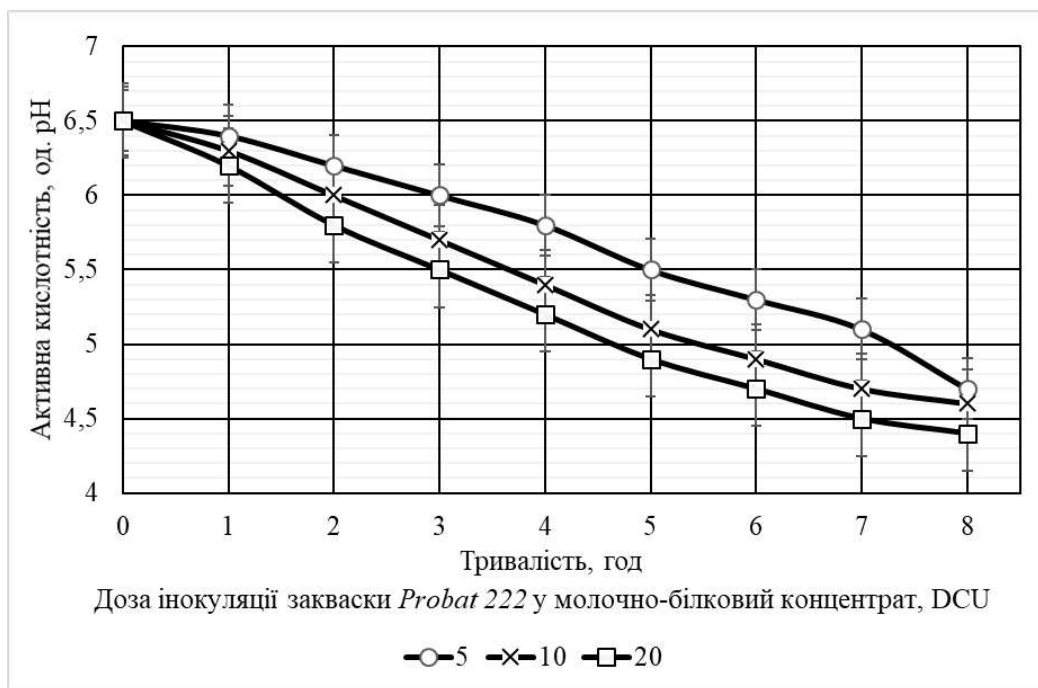


Рисунок 4.4 – Динаміка активної кислотності молочного-білкового концентрату у процесі ферментації

Додавання 10 % сироватково-рослинної суспензії дещо активізує процеси кислотоутворення, що проявляється у зниженні рН до 4,3–4,4 за 8 год. Найшвидше зниження рН відмічено за умови інокуляції в дозі 20 DCU. Це свідчить про те, що навіть незначне введення СРС створює більш сприятливі умови для розвитку молочнокислих бактерій порівняно з контролем. Наявність додаткових азотовмісних сполук із рослинного компонента покращує поживний профіль середовища.

З підвищенням частки СРС до 20 % відмічається прискорення темпу зниження рН. Вже на 6–7 год спостерігається досягнення значень 4,2–4,3, що свідчить про скорочення адаптаційної (лаг) фази та швидший перехід бактерій у фазу активного росту. Відмінності між кривими за різної дози інокуляції залишаються суттєвими, проте вже при 10 DCU спостерігається ефективний рівень кислотності, необхідний для коагуляції. Це вказує на достатню метаболічну активність заквасочних мікроорганізмів у середовищі з комбінованим білково-вуглеводним складом (Труфкаті, 2006).

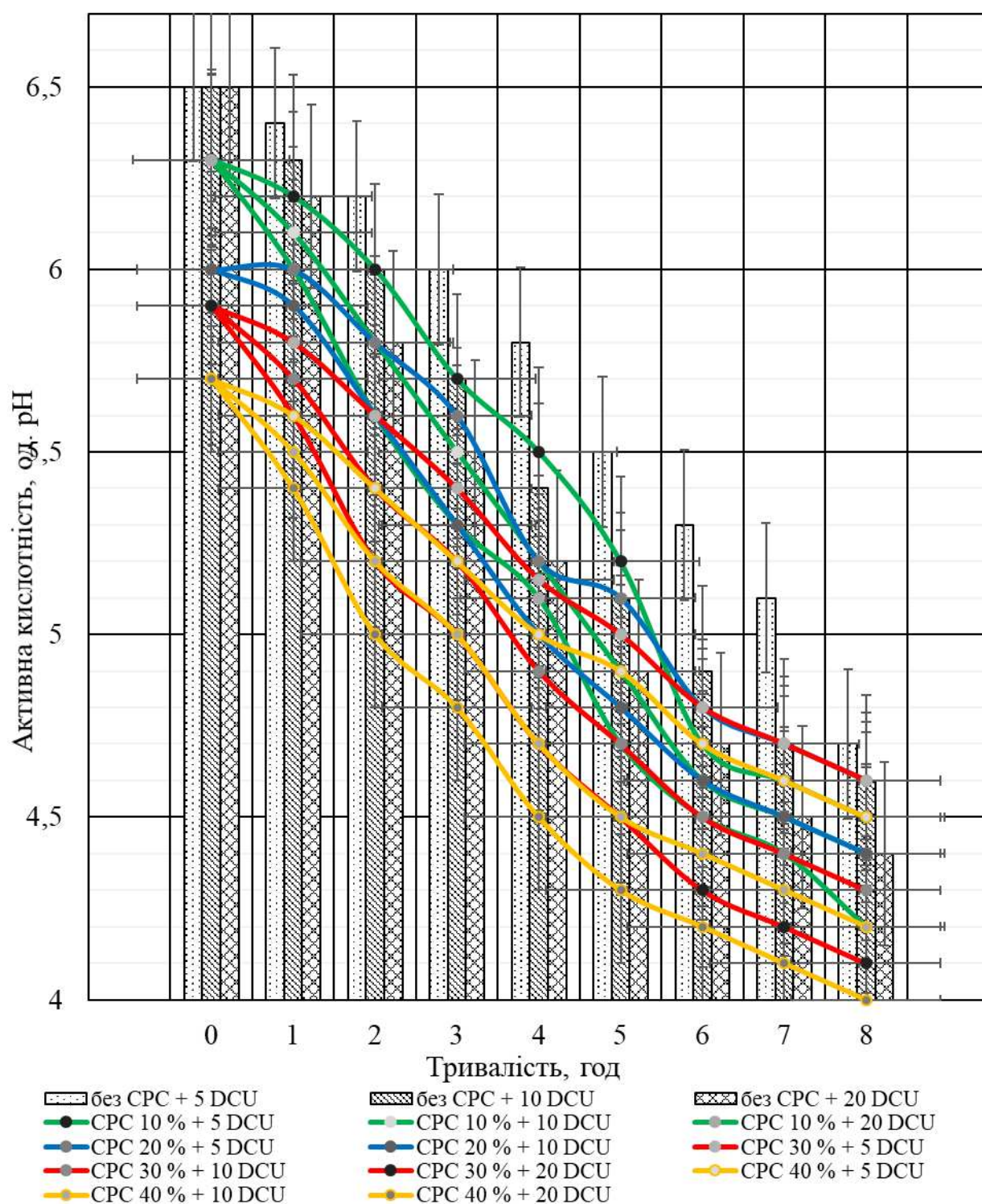


Рисунок 4.5 – Динаміка активної кислотності (рН) молочно-рослинних концентратів залежно від дози інокуляції закваски *Probat 222* та вмісту сироватково-рослинної суспензії в процесі ферментації

При вмісті СРС 30 % ферментація активізується ще більше – рівень рН 4,0–4,2 досягається вже на 4–6 годині, залежно від дози інокуляції. Це підтверджує гіпотезу про покращення ферментативного середовища завдяки внесенню функціональних рослинних компонентів. Особливо чітко проявляється ефект при дозі інокуляції 10 DCU, що вважається оптимальною для промислових умов: вона забезпечує збалансоване зниження рН без надмірного підкислення та ризику утворення крихкої текстури концентрату.

При подальшому збільшенні частки СРС до 40 % процес ферментації прискорюється максимально. Активна кислотність досягає значень рН 4,0 вже на 4-й годині за умови інокуляції в дозі 20 DCU. Однак надто швидке зниження рН може призвести до надмірного ущільнення згустку та посиленого синерезису, що потребує технологічного контролю. Варто враховувати, що занадто інтенсивне підкислення може бути небажаним для продуктів із пастоподібною консистенцією.

Аналіз динаміки активної кислотності у молочно-білковому та молочно-рослинних концентратах з різним вмістом сироватково-рослинної суспензії (СРС) засвідчив, що включення ядер плодів *Arachis hypogaea* позитивно впливає на інтенсивність ферментації. Найбільш активне кислотоутворення спостерігалось у зразках з 30 % і 40 % СРС, де вже на 8-й годині після інокуляції значення рН знижувалося до 4,0–4,2. Це свідчить про покращення умов для росту молочнокислих мікроорганізмів завдяки зміні поживного середовища та зниженню його початкової буферної ємності. Проте у зразках із 40 % СРС та інокуляцією у концентрації 20 DCU спостерігалось надмірне кислотоутворення, що може негативно впливати на текстуру продукту, зокрема спричиняти підвищене виділення сироватки, що потребує технологічного контролю. За дози інокуляції 5 DCU інтенсивність ферментації була недостатньою, особливо у молочно-білковому концентраті, де рН залишався на рівні, недостатньому для максимальної коагуляції.

Оптимальною з технологічної точки зору виявилася доза інокуляції заквасочного препарату *Probat 222* на рівні 10 DCU, яка забезпечувала

стабільне та контрольоване зниження рН у межах 6–8 год незалежно від частки СРС. Водночас результати дослідження свідчать, що вміст сироватково-рослинної суспензії у молочно-рослинних сумішах не повинен перевищувати 30 %, оскільки саме за цієї умови забезпечується найкращий баланс між швидкістю ферментації, якістю згустку та стабільністю консистенції готового концентрату.

З урахуванням результатів досліджень активної кислотності було обґрунтовано доцільність подальшого використання заквасочного препарату *Probat 222* у дозі інокуляції 10 DCU до маси молочно-рослинної суміші.

4.4. Технологічні показники молочно-рослинних концентратів при варіативному вмісті сироватково-рослинної суспензії

З метою подальшого обґрунтування оптимального складу молочно-рослинної суміші, отриманої методом кисло-сичужної коагуляції білків молочно-рослинної суміші, було здійснено оцінку таких технологічних показників, як вихід (маса) концентрату, масова частка вологи та вологоутримуюча здатність. Зазначені параметри є ключовими для забезпечення стабільності консистенції, економічної доцільності виробництва та прогнозованої якості готового продукту. У дослідженнях враховували варіативний вміст сироватково-рослинної суспензії з ядрами плодів *Arachis hypogaea* у сумішах, а також застосовували оптимальну концентрацію заквасочного препарату *Probat 222* у дозі інокуляції 10 DCU до маси суміші, попередньо визначену на основі результатів вивчення динаміки активної кислотності.

Вибір оптимальної кількості внесення СРС базувався на забезпеченні нормативних фізико-хімічних показників характерних для молочно-білкових концентратів, які можуть бути основою для виробництва різних видів сиркових виробів. Технологічні режими виробництва кисло-сичужним способом застосовували для отримання як традиційних ферментованих молочно-білкових концентратів (контроль), так і молочно-рослинних.

Результати досліджень (рис. 4.6) показали тенденцію до зниження виходу та збільшення масової частки води отриманих молочно-рослинних концентратів зі збільшенням кількості внесення сироватково-рослинної суспензії з ядер плодів *Arachis hypogaea*.

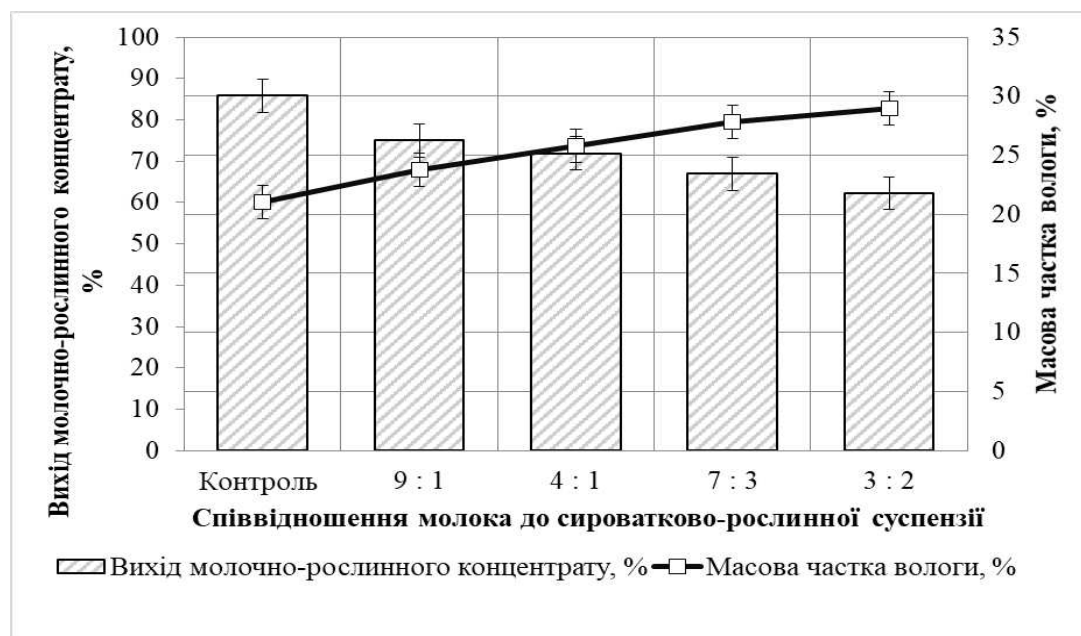


Рисунок 4.6 – Вихід та масова частка води молочно-рослинних концентратів отриманих кислотно-сичужним методом

За результатами досліджень можна зробити висновок, що зі збільшенням частки сироватково-рослинної суспензії у співвідношеннях з молоком від 9:1 до 3:2 спостерігається тенденція до зниження виходу молочно-рослинних концентратів на 5,37–11,17 % порівняно з контрольним зразком (молочно-білковим згустком). Ця зміна пояснюється відносним зменшенням загальної масової частки білка у сумішах та факторами які заважають повному осадженню білків молочно-рослинної суміші за рахунок гіршого осадження рослинних білків. При співвідношенні 9:1 вихід концентрату становить 26,275 %, що на 12,5 % менше порівняно з контрольним зразком (30,05 %). З подальшим збільшенням частки суспензії вихід концентрату зменшується до 21,8 % при співвідношенні 3:2, що демонструє зниження на 27,5 %.

Щодо показника масової частки води концентратів, то спостерігається зростання від 62,9 % до 82,8 % зі збільшенням кількості сироватково-

рослинної суспензії. Так, при співвідношенні 9:1, масова частка води становить 67,9 %, що на 12,9 % більше порівняно з контрольним зразком (60,1 %). При співвідношенні 3:2 цей показник сягає максимуму – 82,8 %, що свідчить про здатність рослинних компонентів утримувати більше води. Це також впливає на консистенцію: при співвідношенні 9:1 концентрат має більш щільну структуру, тоді як при співвідношенні 3:2 отримані зразки характеризуються ніжною, масткою, пастоподібною консистенцією, а процес самопресування триває довше.

Вологоутримуюча здатність молочно-рослинних концентратів знаходиться в прямій залежності від співвідношення компонентів у сумішах. Зі збільшенням частки сироватково-рослинної суспензії цей показник підвищується завдяки ущільненню структури згустку (рис. 4.7). При співвідношенні 3:2 вологоутримуюча здатність досягає максимуму і становить $76,2 \pm 0,1$ %. Це можна пояснити зниженням поверхневого заряду білкових молекул, що сприяє колоїдній дестабілізації білкової фази сумішей. Таким чином, для забезпечення раціональних показників виходу та функціональних властивостей молочно-рослинних концентратів оптимальними є співвідношення молока та сироватково-рослинної суспензії 4:1 або 7:3.



Рисунок 4.7 – Вологоутримуюча здатність молочно-рослинних концентратів отриманих кислотно-сичужним методом (в графіку по осі)

Аналізуючи графік, що відображає вологоутримуючу здатність молочно-рослинних концентратів, можна визначити залежність цього показника від співвідношення молока до сироватково-рослинної суспензії. Контрольний зразок, виготовлений з молочної сировини, має вологоутримуючу здатність 72,5 %, яка слугує контролем. Зі збільшенням частки сироватково-рослинної суспензії спостерігається зростання вологоутримуючої здатності. При співвідношенні 9:1 цей показник знижується до 59,1 %, що на 13,4 % менше порівняно з контролем. У зразках зі співвідношенням 4:1 вологоутримуюча здатність підвищується до 65,4 %, що становить лише на 7,1 % менше за контроль. При співвідношенні 7:3 показник досягає 73,8 %, перевищуючи контрольне значення на 1,3 %. Максимальне значення вологоутримуючої здатності спостерігається при співвідношенні 3:2 і становить 76,2 %, що на 3,7 % більше порівняно з контрольним зразком.

Раціональним для отримання молочно-рослинних концентратів є співвідношення 4:1 і 7:3. При співвідношенні 4:1 вологоутримуюча здатність близька до контрольного зразка, що забезпечує хороші функціональні та органолептичні показники концентрату. Співвідношення 7:3 забезпечує ще вищий рівень вологоутримуючої здатності (73,8 %) без значного погіршення текстури концентрату. Співвідношення 3:2, хоча й демонструє максимальну вологоутримуючу здатність (76,2 %), може призвести до надмірно масткої пастоподібної консистенції концентрату, що може бути неприйнятним для використання в якості основи для сиркових виробів. Таким чином, співвідношення 4:1 і 7:3 є раціональним для виробництва молочно-рослинних концентратів із нормативними фізико-хімічними та органолептичними показниками.

Також для визначення раціональної дози внесення молочно-рослинної суспензії для виготовлення молочно-рослинного концентрату було проведено органолептичну оцінку, наведену у табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Органолептичні показники молочно-рослинних концентратів

Співвідношення знежиреного молока та сироватково- рослинної суспензії	Органолептичні показники концентрату		
	Консистенція та зовнішній вигляд	Смак і аромат	Колір
9 : 1 	Однорідна, м'яка, мастка	Чистий, кисломолочний, не виражений смак і аромат арахісу	Ледь помітний світло-кремовий рівномірний по всій масі
4 : 1 			
7 : 3 		Чистий кисломолочний з легким ароматом арахусу	Кремовий рівномірний по всій масі
3 : 2 	Однорідна, злегка рідка, борошниста	Чистий кисломолочний з вираженим смаком і ароматом арахісу	Надто виражений насичений жовтувато- кремовий рівномірний по всій масі

Аналіз органолептичних показників молочно-рослинних концентратів, наведених у таблиці, підтверджує оптимальність співвідношень 4:1 і 7:3. При співвідношенні 4:1 концентрат характеризується однорідною, м'якою та масткою консистенцією. Смак і аромат концентрату чистий, кисломолочний, з легким ароматом арахісу. Колір – кремовий, рівномірний по всій масі. Це свідчить про збалансоване поєднання молочних і рослинних компонентів, що забезпечує нормативні функціонально-технологічні показники концентрату. Співвідношення 7:3 також дає можливість отримати концентрат із задовільними показниками якості. Консистенція однорідна, мазка, а смак – чистий кисломолочний, з легким ароматом арахісу. Колір рівномірно кремовий. Це співвідношення забезпечує високу вологоутримуючу здатність (73,8 %) і хороший баланс між текстурою та ароматом. Натомість за співвідношення 9:1 концентрат має менш виражений аромат арахісу та слабкий кремовий колір, що свідчить про недостатній вміст рослинного компонента. Співвідношення 3:2, хоча й має найвищу вологоутримуючу здатність (76,2 %), характеризується рідкуватою, борошнистою консистенцією та надто насиченим жовтувато-кремовим кольором, що може вплинути на якість сиркового виробу з цього концентрату. Таким чином, органолептичні показники підтверджують попередні висновки щодо оптимальності співвідношень 4:1 і 7:3, оскільки вони забезпечують кращий баланс між текстурою, смаком, ароматом і зовнішнім виглядом концентратів.

Висновки до розділу IV

Доведено, що додавання 30% СРС у молочно-рослинну суміш сприяє найбільш ефективному формуванню білкового згустку завдяки високому вмісту гідрофільних рослинних білків і зниженій буферній ємності середовища. Саме ці умови забезпечили інтенсивне співосадження молочних та рослинних білків, підвищуючи структурну стабільність концентрату.

Встановлено, що інокуляція молочно-рослинної суміші заквасочним препаратом *Probat 222* у дозі 10 DCU є оптимальною з технологічної точки зору. Цей рівень забезпечував досягнення рівня життєздатної мікрофлори 5–6

log КУО/г упродовж 4–5 годин ферментації, стабільне зниження рН до 4,2–4,3, відсутність ознак надмірного кислотонакопичення та формування однорідної структури концентрату. Виявлено, що збільшення вмісту СРС до 40 % за дози інокуляції до 20 DCU призводить до надмірного зниження рН (до 4,0 вже на 4-й годині), що викликає ущільнення згустку, підвищений синерезис і втрату текстурної цілісності. Отже, концентрація СРС понад 30 % вважається надмірною для забезпечення якісних характеристик концентрату.

За результатами аналізу фізико-хімічних та органолептичних показників раціональними співвідношеннями молока та СРС для виробництва концентратів кислотно-сичужним методом визначено 4:1 та 7:3. Вони забезпечили найкраще поєднання виходу (22,8–24,7 %), вологоутримуючої здатності (73,8–76,2 %), однорідної консистенції та збалансованого смаку з легким горіховим ароматом.

РОЗДІЛ V. ДОСЛІДЖЕННЯ СТАНУ ВОЛОГИ, РЕОЛОГІЧНИХ ТА МІКРОСТРУКТУРНИХ ПОКАЗНИКІВ МОЛОЧНО-РОСЛИННИХ КОНЦЕНТРАТІВ

5.1. Дослідження стану вологи в молочно-рослинних концентратах методом дериватографії

Дериватографія є одним із важливих термічних методів дослідження. Її застосовують для вивчення термічного зневоднення та руйнування органічних об'єктів (рослинного і тваринного). Цей метод дає змогу встановити стадії та температурні межі розкладання, тип теплових ефектів, глибину структурних і хімічних змін.

Волога в молочно-білкових системах існує у вигляді трьох основних форм: вільної, фізично зв'язаної та хімічно зв'язаної. З позицій термодинаміки, ці форми відрізняються ентальпійною стабільністю та характером взаємодії з матрицею продукту. Вільна волога слабо зв'язана з поверхнею білкових глобул і може бути легко видалена при низьких температурах. Фізично зв'язана вода утримується за рахунок водневих зв'язків, переважно між гідрофільними амінокислотними залишками білків і молекулами води, тоді як хімічно зв'язана бере участь у координаційних та гідратних комплексах з білками та мінеральними компонентами (Fox & McSweeney, 2015; Walstra et al., 2019, Nascimento et al., 2023).

Ступінь зв'язування вологи визначає не лише консистенцію та реологічні характеристики продукту, а й його мікроструктуру та здатність до зберігання. У молочно-рослинних системах спостерігається перерозподіл вологи між цими формами внаслідок специфічної взаємодії молочних білків із біополімерами рослинного походження, зокрема білками ядер плодів *Arachis hypogaea*. Ці взаємодії можуть включати електростатичні зв'язки, гідрофобні взаємодії та міжланцюгові водневі зв'язки, що сприяють утворенню просторової тримірної матриці з високою здатністю до утримання води (Boye et al., 2017). Це, у свою чергу, зменшує синерезис і забезпечує стабільність структури концентратів при технологічній обробці.

Застосування методу термогравіметричного аналізу (TGA) у поєднанні з диференціальною термогравіметриєю (DTG) та диференціальним термічним аналізом (DTA) є ефективним інструментом для вивчення температурної поведінки вологи в складних харчових системах. За допомогою цих методів можливо встановити температуру ініціації випаровування різних форм вологи, розрахувати енергетичні характеристики процесів дегідратації та виявити теплові ефекти, що супроводжують структурні й фазові перетворення (Saldo et al., 2002; Гніцевич et al., 2021; Михайлик et al., 2015; Lammerskiten et al., 2019, Wang et al., 2018)

Зокрема, TGA дозволяє визначити втрату маси зразка як функцію температури, DTG характеризує інтенсивність і швидкість цього процесу, а DTA дозволяє фіксувати ендо- або екзотермічні реакції, що відбуваються при нагріванні. У контексті дослідження молочно-рослинних концентратів це дає змогу диференціювати вільну, фізично й хімічно зв'язану вологу за критерієм температурної стабільності, гідрофільності зав'язків та характеру взаємодії з білковою матрицею (Sandoval et al., 2009; Овсієнко et al., 2021; Гніцевич et al., 2021).

У процесі дослідження було проаналізовано чотири зразки: два – молочно-білкові концентрат (контроль) та два – молочно-рослинні концентрати, отримані кислотно-сичужним та термокислотним способами. Такий вибір обумовлений необхідністю порівняння різних механізмів коагуляції (сичужно-кислотного і термокислотного) з метою з'ясування їхнього впливу на розподіл форм вологи в системі, рівень водозв'язування та термостабільність концентратів. Кожен з методів коагуляції має відмінні фізико-хімічні передумови утворення білкової матриці, що визначає його придатність для подальшого використання у виробництві молочних або молочно-рослинних продуктів на основі концентратів. На дериватограмах усіх чотирьох зразків виділено три основні діапазони втрати маси, які відповідають:

✓ до 125 °C – видаленню вільної (механічно утримуваної та капілярної) вологи, розміщеної в міжглобулярних просторах та вільних порах білкової матриці;

✓ 125–176 °C – поступовому видаленню фізико-хімічно зв'язаної вологи, асоційованої з гідрофільними амінокислотними залишками білків та іншими полярними функціональними групами, з утворенням водневих, іонних та координаційних зв'язків;

✓ понад 176 °C – завершенню дегідратації та початку термодеструктивних процесів, що супроводжуються піролізом білків, залишкових жирів і вуглеводів. У цей період втрачається хімічно зв'язана волога, зокрема з гідратних оболонок іонів та координаційних зав'язків білково-мінеральних комплексів. Вивільнення цієї вологи супроводжується характерними ендотермічними ефектами, які реєструються на кривій DTA.

Проектування екстремумів кривої DTG на відповідні зони втрати маси на TG-кривій дозволяє кількісно розмежувати форми вологи залежно від характеру зв'язку з білковою матрицею. Порівняння положень максимумів швидкості дегідратації дає змогу судити про глибину інтеграції вологи у внутрішньоматричні зв'язки. Зокрема, чим вищою є температура DTG-піку, тим сильніше вода асоційована з матрицею, що вказує на її фізико-хімічну або хімічну природу зв'язування. Такий підхід узгоджується з методами, описаними в роботах Гніцевич et al. (2021) і Овсієнко et al. (2021), де встановлюється термічна стійкість форм вологи через аналіз термогравіметричних профілів.

На рисунку 5.1 наведено термогравіметричні криві для кожного зразка, а в таблиці 5.1 систематизовано їх порівняльні параметри.

термокислотним. Порівнювані параметри охоплюють температурні діапазони втрати маси, загальну втрату вологи, температури максимумів DTG/DTA та якісну інтерпретацію механізмів дегідратації. Така систематизація дозволяє не лише виявити відмінності у структурній організації білкової матриці, але й зіставити характер зв'язування вологи в кожному типі концентрату. Це має прикладне значення для прогнозування реологічних і текстурних властивостей у виробках, де ці концентрати можуть бути базовим компонентом.

Таблиця 5.1 – Порівняльна характеристика термогравіметричних властивостей концентратів

Концентрат (спосіб виробництва)	Загальна втрати маси (%)	Втрати маси за температур: до 125 °C / 125– 176 °C / >176 °C (%)	Максимальний пік DTG (°C)	Кількість зв'язаної вологи (%)	Інтерпретація
а) молочний- білковий (кислотностичужний)	19,0	12,5 / 4,5 / 2,0	135	6,5	Помірна дегідратація в усіх фазах, збалансована структура. Відносно стабільний до температур до 170 °C
б) Молочно- рослинний (кислотностичужний)	16,2	10,2 / 4,6 / 1,4	138	7,5	Висока водотримувальна здатність за раху-

сичужний)					нок білків <i>Arachis hypogaea</i> . Сформована гелева структура. Рекомендований для пастоподібних сиркових продуктів
в) молочно-білковий (термокислотний)	44,0	30,5 / 10,0 / 3,5	108	4,2	Найбільша втрата води. Слабка гідратація, утворення щільного згустку
г) Молочно-рослинний (термокислотний)	22,5	15,0 / 5,0 / 2,5	122	5,0	Помірна термостабільність. Концентрат ущільнюється при нагріванні, формує стабільну текстуру. Рекомендований для формових сиркових продуктів

Молочно-білковий концентрат, отриманий кислотно-сичужним способом (а) – крива TG демонструє помірну загальну втрату маси (19,0 %), більшість якої припадає на діапазон температур до 125 °С. Це свідчить про випаровування води, присутньої у вільному стані, не зв'язаної структурно з білковою матрицею. Така вода розміщена у міжглобулярних або капілярних просторах. У діапазоні 125–176 °С фіксується стабільна втрата

маси, пов'язана із видаленням фізико-хімічно зв'язаної води, що асоційована з функціональними групами білкових глобул: $-\text{OH}$, $-\text{COOH}$, $-\text{NH}_2$. Ці групи формують водневі та гідрофільні взаємодії з молекулами води, сприяючи стабілізації структури. Максимум DTG-піку на рівні $\sim 135^\circ\text{C}$ та ендотермічні зміни на DTA-кривій підтверджують достатню термостійкість структури до $\sim 170^\circ\text{C}$. Такі властивості характерні для молочних систем із помірною вологоутримуючою здатністю. Отримані результати корелюють із даними досліджень, які також вказують на збереження значної частини вологи внаслідок формування просторово стабільної білкової структури. Піролізні процеси та деструкція білків на пізніх етапах підтверджуються також.

Молочно-рослинний концентрат, отриманий кислотно-сичужним (б) способом – TG-крива фіксує найменшу загальну втрату маси (16,2 %), а дегідратація в діапазоні до 125°C – незначна. Це вказує на високу частку води, що зв'язана фізико-хімічно. Така здатність зумовлена коагуляційно-ензимним механізмом і наявністю білків *Arachis hypogaea*, що беруть участь у формуванні водневих і електростатичних зв'язків. Дегідратація у середньому температурному діапазоні ($125\text{--}176^\circ\text{C}$) є вираженою, що свідчить про стабільне водозв'язування. Розтягнутий профіль DTG-кривої та м'який ендотермічний пік на DTA підтверджують, що структура є стабільною, рівномірно дегідратується без фазових переходів. Така тривимірна білкова матриця ефективно зберігає воду, що робить концентрат придатним для пастоподібних систем. Порівняння з даними підтверджує, що така поведінка характерна для білкових систем із підвищеною міжфазною стабільністю та низькою схильністю до синерезису.

Молочно-білковий концентрат, отриманий термокислотним способом (в) – зафіксовано найвищу загальну втрату маси (44 %). Більшість вологи видалається до 125°C , що вказує на переважання вільної вологи. Слабка дегідратація в середньому температурному діапазоні свідчить про мінімальну кількість води, зв'язаної з білками, і слабку участь функціональних груп у гідратації. Низький DTG-пік ($\sim 108^\circ\text{C}$) підтверджує низьку термостійкість

системи. Така поведінка типова для білкових систем, коагульованих лише кислотним і термічним впливом, без ферментативного впливу та без участі рослинних білків, які можуть стабілізувати систему. Проте, після видалення вологи структура ущільнюється, що дозволяє формувати щільні згустки, придатні для виробництва формових сиркових продуктів. Така поведінка підтверджується дослідженнями, які вказують на знижену здатність до утворення стабільної тримірної сітки в білкових системах, коагульованих лише кислотним і термічним впливом.

Молочно-рослинний концентрат, отриманий термокислотним способом (г) – загальна втрата маси становить 22,5 %, що свідчить про помірну вологоутримуючу здатність. Близько 15 % маси втрачається до 125 °C, що відповідає вивільненню вільної води. Це пояснюється наявністю неструктурованих ділянок, в яких волога не зв'язана. У температурному діапазоні 125–176 °C відбувається дегідратація фізико-хімічно зв'язаної вологи за рахунок взаємодії полярних груп ($-\text{COOH}$, $-\text{OH}$, $-\text{NH}_2$) із молекулами води. Пік DTG (~122 °C) свідчить про початок процесів дегідратації на нижчому рівні температур, однак білкова матриця, сформована з білків молочних та ядер плодів *Arachis hypogaea*, зберігає достатню термостійкість і здатність до ущільнення, що робить цей концентрат придатним для виробництва формових продуктів.

Отримані результати свідчать про суттєві відмінності в кількісному та якісному розподілі форм вологи в системах залежно від типу концентрату та способу коагуляції. Таким чином, спосіб коагуляції має вирішальне значення у формуванні типу гідратаційної структури концентрату. Термокислотна коагуляція сприяє формуванню щільних агрегатів з високим вмістом вільної вологи, а кислотно-сичужна коагуляція формує стабільну тривимірну матрицю з вираженою здатністю до утримування води, що вивільняється при вищих температурах. Метод дериватографії (TG, DTG, DTA) дозволив комплексно охарактеризувати термічну поведінку води у молочно-білкових і молочно-рослинних концентратах, виявити форми зв'язування вологи та

встановити зв'язок між способом коагуляції і структурною стабільністю зразків. Проведений аналіз є науковою основою для обґрунтування технологічного вибору типу коагуляції та складу концентрату, залежно від вимог до структурних, термічних та водоутримувальних характеристик ферментованих молочно-рослинних продуктів.

5.2. Дослідження реологічних показників молочно-рослинних концентратів

Реологічні властивості харчових систем відображають їхню здатність чинити опір деформації та течії під дією зовнішніх механічних впливів і є одним із визначальних критеріїв стабільності структури, технологічної придатності й споживчих характеристик продукту. Молочно-рослинний концентрат являє собою дисперсну систему з певною внутрішньою структурою, яка чинить опір розтіканням або змінам форми під дією механічного навантаження, що виникає, зокрема, під час перемішування, перекачування чи фасування (Peng & Guo, 2015). Визначення ефективної в'язкості дає змогу кількісно оцінити опір середовища зсуву, що має важливе значення для прогнозування поведінки систем на різних етапах технологічного процесу (Маринін et al., 2023; Saleh et al., 2020; Yu et al., 2016). У межах даного дослідження проведено порівняльну оцінку ефективної в'язкості чотирьох типів концентратів: молочно-білкових (контроль) і молочно-рослинних, отриманих шляхом кислотно-сичужної та термокислотної коагуляції. Експериментальні вимірювання здійснювали за допомогою реометра *Kinexus Pro+* (*Malvern Instruments*, Велика Британія) у широкому діапазоні швидкостей зсуву (від $0,1 \text{ c}^{-1}$ до 100 c^{-1}) (Marynin et al., 2023; Alvarez et al., 2015). На основі побудованих реологічних кривих встановлено закономірності впливу сировинного складу та способу коагуляції на структурно-механічні характеристики досліджуваних систем.

На рисунку 5.2 наведено залежність ефективної в'язкості досліджуваних молочно-білкових і молочно-рослинних концентратів від швидкості зсуву (прямий і зворотній хід).

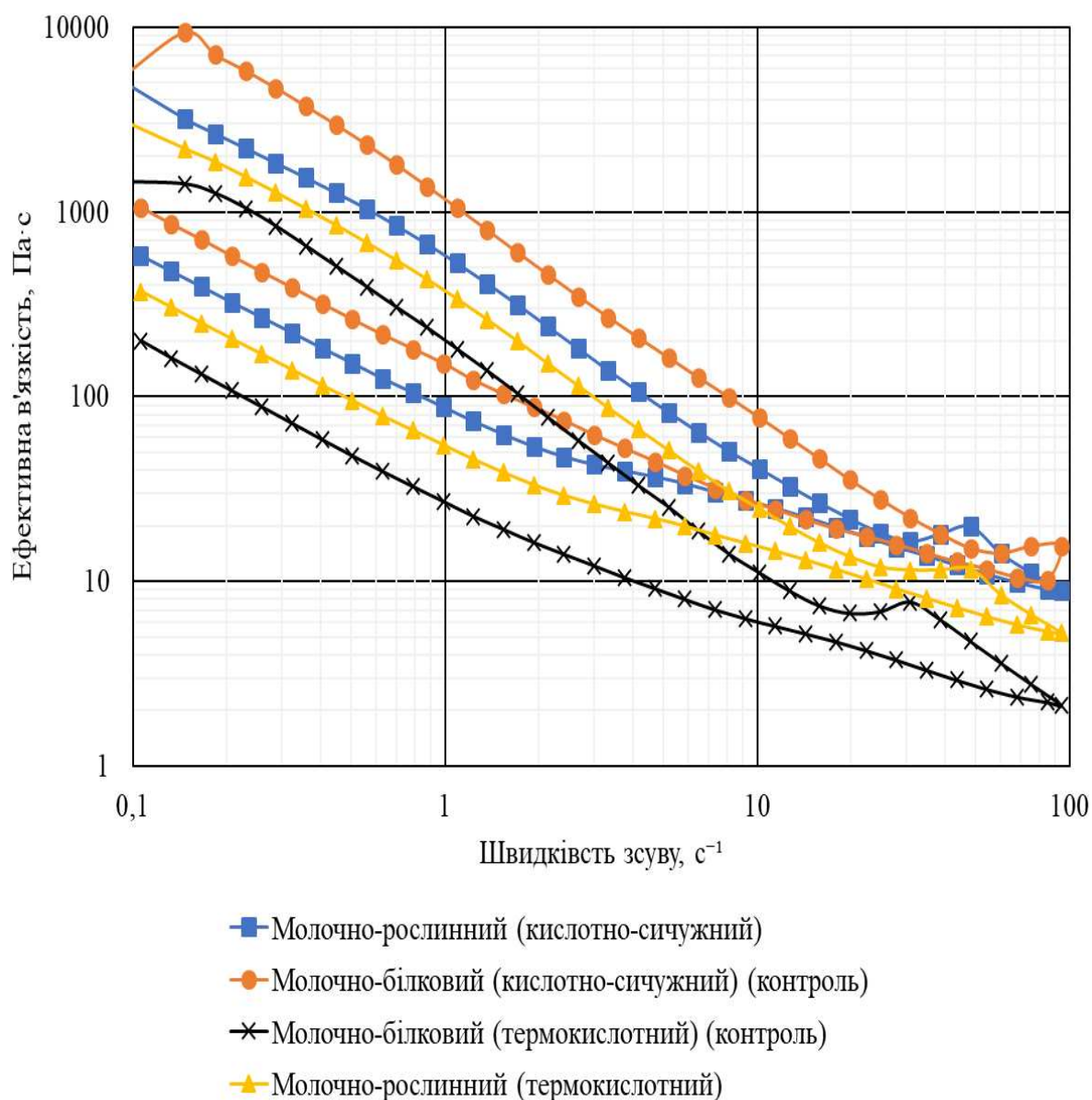


Рисунок 5.2 – Залежність в'язкості молочно-білкових та молочно-рослинних концентратів від швидкості зсуву

У всіх зразках прослідковується типова для дисперсних систем неньютонівська псевдопластична поведінка, що виявляється у зменшенні в'язкості зі збільшенням швидкості зсуву. Відповідна реологічна картина свідчить про руйнування просторової структури концентратів під дією механічного навантаження, що є характерним для систем з гелеутворюючими компонентами білково-вуглеводної природи (Peng & Guo, 2015). Форма кривих, розташування ліній та величини в'язкості дозволяють оцінити вплив

способу коагуляції та введення рослинного компонента на структурно-механічні властивості досліджуваних систем.

Для порівняльного аналізу реологічних характеристик досліджуваних концентратів було обрано швидкість зсуву $\gamma = 10,15 \text{ c}^{-1}$. Це значення відповідає окремій експериментальній точці, характерній для умов перемішування і дозування молочно-білкових концентратів середньої та високої в'язкості у промислових умовах, що забезпечує коректне зіставлення реологічної поведінки систем.

Порівнюючи результати досліджень, встановлено, що ефективна в'язкість молочно-білкового концентрату, отриманого кислотно-сичужним способом, при $\gamma = 10,15 \text{ c}^{-1}$ становила 77,1 Па·с, а для зразка, отриманого термокислотним способом, – 11,16 Па·с. Таким чином, ефективна в'язкість молочно-білкового концентрату, отриманого кислотно-сичужним способом, є вищою за ефективну в'язкість молочно-білкового концентрату, отриманого термокислотним способом, на 591 %, що відповідає різниці у 65,94 Па·с.

Аналізуючи дослідні молочно-рослинні концентрати із вмістом ядер плодів *Arachis hypogaea*, встановлено, що ефективна в'язкість концентрату, отриманого кислотно-сичужним способом, при $\gamma = 10,15 \text{ c}^{-1}$ становила 40,8 Па·с, а для молочно-рослинного концентрату, отриманого термокислотним способом, – 30,0 Па·с. Порівняння ефективної в'язкості молочно-білкового кислотно-сичужного концентрату (77,1 Па·с) із молочно-рослинним кислотно-сичужним концентратом (40,8 Па·с) свідчить про її зниження на 36,3 Па·с, що становить 47,1 %. Водночас ефективна в'язкість молочно-рослинного концентрату термокислотного способу є вищою за ефективну в'язкість молочно-білкового термокислотного контролю на 18,84 Па·с або на 169 %.

Таким чином, у групі концентратів, отриманих термокислотою коагуляцією, введення ядер плодів *Arachis hypogaea* суттєво підвищує ефективну в'язкість і зміцнює просторову структуру. Висока ефективна в'язкість молочно-рослинних концентратів пояснюється участю білкових і

вуглеводних компонентів ядер плодів *Arachis hypogaea* у формуванні додаткової тривимірної каркасної структури за рахунок гідрофобних, водневих і іонних взаємодій. В об'ємі концентрату утворюється щільна система поперечних з'єднань (приблизно $10^3 - 10^4$ зав'язків у межах об'єму 1 мкм^3), що забезпечує високу механічну стійкість систем при технологічних операціях, таких як перемішування, дозування, формування та фасування.

Отже, введення ядер плодів *Arachis hypogaea* до складу молочно-рослинних сумішей: підвищує ефективну в'язкість концентратів; зміцнює коагуляційний каркас; покращує стабільність структури при технологічних навантаженнях.

Аналіз отриманих результатів підтверджує переваги використання ядер плодів *Arachis hypogaea* для оптимізації реологічних властивостей молочно-рослинних концентратів. Зокрема, при швидкості зсуву $\gamma = 5,0 \text{ с}^{-1}$ ефективна в'язкість молочно-рослинного концентрату, отриманого кислотно-сичужним способом, становила $70,0 \text{ Па}\cdot\text{с}$, що на $36,8 \%$ нижче, ніж у відповідного молочно-білкового концентрату (контроль) – $110,8 \text{ Па}\cdot\text{с}$. Водночас при $\gamma = 20,0 \text{ с}^{-1}$ ефективна в'язкість молочно-рослинного концентрату, отриманого термокислотним способом складала $22,0 \text{ Па}\cdot\text{с}$, що у $2,4$ рази вище, ніж у молочно-білкового, виробленого тим же способом (контроль) – $9,1 \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Узагальнені результати порівняння ефективної в'язкості молочно-білкових і молочно-рослинних концентратів при швидкостях зсуву $5,0$; $10,15$ і $20,0 \text{ с}^{-1}$ наведено у таблиці 5.2.

Отримані реологічні характеристики молочно-рослинних концентратів із ядрами плодів *Arachis hypogaea* свідчать про придатність до виробництва на існуючому обладнанні підприємств без необхідності технічного переоснащення. Показники ефективної в'язкості знаходяться у межах, допустимих для процесів дозування, перемішування та фасування з використанням традиційного обладнання.

Таблиця 5.2 – Ефективна в'язкість та її зміна молочно-білкових та молочно-рослинних концентратів, отриманих різними способами

Швидкість зсуву (γ), с^{-1}	Ефективна в'язкість (η , Па·с) концентрату, отриманого способом:				Зміна ефективної в'язкості в молочно- рослинних концентратів в порівнянні показником в молочно-білкових, отриманих способом:			
	молочно- білкового (контроль)		молочно- рослинного		кислотно- сичужний		Термо- кислотний	
	кис- лотно- сичуж- ним	термо- кислот- ним	кис- лотно- сичуж- ним	термо- кислот- ним	Па·с	%	Па·с	%
5	110,8	18,9	70	40,5	40,8	36,8	21,6	2,14
10,15	77,1	11,16	40,8	30	36,3	47,1	18,84	2,69
20	49,2	9,1	26,5	22	22,7	46,1	12,9	2,42

Підвищення значень ефективної в'язкості у молочно-рослинних концентратах із ядрами плодів *Arachis hypogaea* свідчать про формування зміцненої коагуляційної структури, яка забезпечує стабільність механічних властивостей системи в широкому діапазоні технологічних навантажень. Це дає підстави стверджувати, що запропоновані молочно-рослинні концентрати можуть бути ефективно інтегровані у виробничі процеси молокопереробних підприємств без використання додаткового обладнання. Таким чином, введення ядер плодів *Arachis hypogaea* до складу молочних концентратів не лише не погіршує реологічних характеристик, а навпаки, сприяє зміцненню структури системи, забезпечуючи її високу механічну стабільність і технологічну придатність.

5.3. Мікроструктурні особливості молочно-рослинних концентратів

У виробництві молочно-рослинних концентратів, які відповідають нормативним показникам якості, необхідно враховувати зміни конформації та агрегатного стану білкової фракції молочно-рослинної суміші під час сумісної коагуляції молочних та рослинних білків в присутності рослинних вуглеводів та жирів ядер плодів *Arachis hypogaea*, адже саме від мікроструктурних характеристик концентрату залежать його консистенція та структурно-механічні властивості (Skuibida et al., 2022). У цьому дослідженні мікроструктуру концентратів досліджували методом світлової мікроскопії, що дозволило оцінити просторову організацію білкової фази, розподіл жирових включень і формування мікрокомпонентів у матриці (Felfoul & Lopez., 2024; Paska et al., 2018; Головка et al., 2014; Півоваров et al., 2012). Отримані параметри дають змогу встановити кореляцію між внутрішньою структурною організацією та функціональними властивостями концентратів, зокрема їхньою консистенцією й водоутримуючою здатністю. Параметричні характеристики мікроструктури концентратів, отримані в межах дослідження наведено в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Параметричні характеристики мікроструктури концентратів, мкм

Вид концентрату	Ділянки з ущільненою білковою структурою	Вкраплення жиру	Мікропорожнечі
Молочно-білковий (контроль)	60–380	–	35–120
Молочно-рослинний	50–520	7,5–11,5	35–90

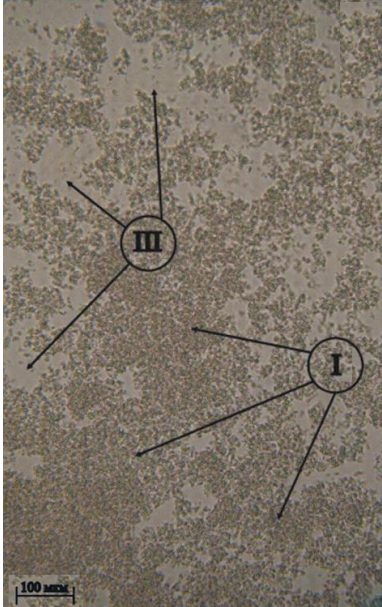
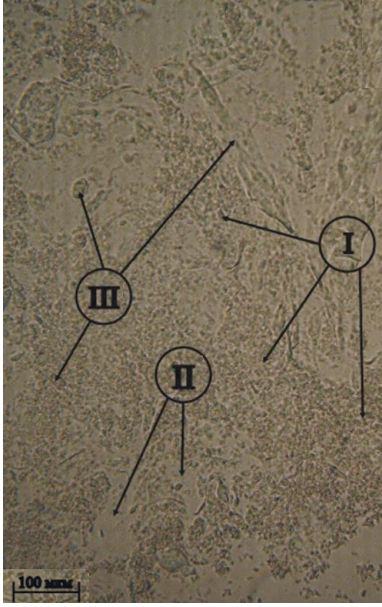
Як видно з табл. 5.3, молочно-рослинний концентрат має розширений діапазон розмірів білкових глобул – 50–520 мкм порівняно з 60–380 мкм у контрольному зразку, що відображає варіабельний ступінь коагуляції

молочних і рослинних білків у присутності вуглеводних та ліпідних компонентів ядер плодів *Arachis hypogaea*. Інтеграція рослинного жиру в білкову матрицю підтверджується наявністю дискретних жирових глобул діаметром 7,5–11,5 мкм, а детальніший аналіз мікрофотографій виявляє дрібнодисперсні ліпідні включення 5–7 мкм, що свідчить про однорідність фазового розподілу ліпідів у білковому просторовому каркасі.

Звуження діапазону мікропорожнин у дослідному зразку до 35–90 мкм (проти 35–120 мкм у контролі) вказує на більш щільне пакування білкових глобул та формування каркасної структури білкової матриці, яка обмежує геометрію пустот і сприяє підвищенню жорсткості та стійкості до деформацій. Така внутрішньоматрична організація, поєднана з рівномірним розподілом ліпідних і вуглеводних компонентів, є ключовою для забезпечення високої вологоутримуючої здатності та стабільності консистенції концентрату.

Для візуального та якісного аналізу мікроструктурних особливостей концентратів у табл. 5.4 наведено відповідні мікрофотографії та їх інтерпретацію. Як видно з результатів, молочно-рослинний концентрат утворює чітку каркасну білкову матрицю, представлену дрібнодисперсними глобулами діаметром 50–520 мкм, які щільно взаємопов'язані та формують однорідну сітку. Поодинокі ліпідні глобули розміром 7,5–11,5 мкм рівномірно емульговані в білковій фазі, що підсилює когезію матриці й запобігає коалесценції жирових частинок. Включення харчових волокон довжиною до 60 мкм виконують роль армуючих елементів, зміцнюючи просторову топологію згустку. Звужений діапазон мікропор (35–90 мкм) зі середнім діаметром близько 62,5 мкм свідчить про зменшену загальну пористість і однорідність пустотної структури, що сприяє підвищенню вологоутримуючої здатності та стабільності консистенції концентрату.

Таблиця 5.4 – Характеристика мікроструктури концентратів

Вид концентрату	Мікрофотографії концентратів	Характеристика мікроструктури
Молочно-білковий (контроль)		однорідна білкова матриця, представлена крупно- та дрібнодисперсними глобулами діаметром 60–380 мкм (I), між якими утворюються нерегулярні пори діаметром 35–120 мкм (II) із середнім розміром $\approx 77,5$ мкм. Широкий розподіл розмірів пор свідчить про високу загальну пористість матриці та знижений рівень когезії між глобулами, що обмежує її механічну стійкість
Молочно-рослинний		Каркасна білкова матриця, представлена дрібнодисперсними глобулами діаметром 50–520 мкм (I). Поодинокі ліпідні включення розміром 7,5–11,5 мкм (II) із середнім діаметром ≈ 10 мкм свідчать про рівномірний фазовий розподіл жиру. Включення харчових волокон довжиною до 60 мкм (III) інтегровані у білкову мережу. Мікропори діаметром 35–90 мкм (середній $\approx 62,5$ мкм) вказують на підвищену щільність пакування глобул і

		посилену когезію матриці, що забезпечує високу жорсткість структури та покращену вологоутримуючу здатність
--	--	--

Така інтеграція молочних і рослинних білків із ліпідно-вуглеводними компонентами ядер плодів *Arachis hypogaea* забезпечує зміцнену каркасну матрицю з підвищеною жорсткістю та стійкістю до механічного навантаження.

Отримані мікроструктурні дані повністю узгоджуються з результатами дериватографічного аналізу та реологічних випробувань попередніх підрозділів 5.1 та 5.2, які демонстрували підвищену термічну стійкість і оптимальні реологічні параметри молочно-рослинних згустків з ядрами плодів *Arachis hypogaea*. Зміцнена каркасна матриця білкових глобул із рівномірно розподіленими ліпідно-вуглеводними включеннями забезпечує підвищену стійкість продукту до механічних впливів – зокрема інтенсивного перемішування та фасування – та гарантує збереження консистенції й однорідності структури під час технологічної обробки й зберігання.

Висновки до розділу V

Проведений термогравіметричний аналіз підтвердив, що спосіб коагуляції істотно впливає на форму зв'язування води, термостійкість і стабільність структури концентратів. Найвищу водоутримуючу здатність та термічну стабільність виявлено у зразках, отриманих кислотно-сичужним способом із додаванням білків *Arachis hypogaea*, які формують просторово організовану білкову матрицю з переважанням фізико-хімічно зв'язаної води.

Реологічні дослідження засвідчили, що всі концентрати мають псевдопластичну поведінку, характерну для гелеутворених білково-вуглеводних систем. Введення білків *Arachis hypogaea* значно підвищує ефективну в'язкість концентратів, особливо у зразках, отриманих

термокислотою коагуляцією, що свідчить про зміцнення коагуляційного каркасу й покращення структурної стабільності.

Мікроструктурний аналіз виявив, що молочно-рослинні концентрати формують ущільнену каркасну матрицю з дрібнодисперсними білковими глобулами, однорідним розподілом жирових включень і зменшеним об'ємом мікропор, що забезпечує високу когезію, вологоутримання та стійкість до механічних деформацій.

Отримані результати комплексно доводять ефективність використання ядер плодів *Arachis hypogaea* у складі молочно-рослинних концентратів для покращення функціональних властивостей, зокрема водоутримуючої здатності, в'язкості та структурної цілісності, що є перспективним для подальшого промислового впровадження у виробництві формованих та пастоподібних ферментованих сиркових виробів.

РОЗДІЛ VI. КОМПЛЕКСНА ОЦІНКА ЯКОСТІ ТА УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ФЕРМЕНТОВАНИХ МОЛОЧНО- РОСЛИННИХ ПРОДУКТІВ НА ОСНОВІ БІЛКОВИХ КОНЦЕНТРАТІВ

6.1. Дослідження біологічної цінності молочно-рослинних концентратів

Біологічна цінність харчових продуктів відображає здатність білкових складових забезпечувати підтримку азотистого балансу в організмі людини та сприяти синтезу структурно-функціональних білків (Ajomiwe et. all.,2024).

Амінокислоти поділяються на незамінні (*essential*) та замінні (*non-essential*). Замінні амінокислоти (ЗАК) можуть утворюватися в організмі шляхом перетворення доступних сполук – метаболіти центральних шляхів енерго- та вуглеводного обміну (піруват, оксалоацетат, α -кетоглутарат, 3-фосфогліцерат), з яких через трансамінування та інші реакції формується більшість замінних амінокислот (Weijzen., 2022; van Vliet, Burd, & van Loon, 2015), тоді як незамінні амінокислоти мають надходити з харчуванням, оскільки людина не може їх самостійно синтезувати. Незамінні амінокислоти (НАК) є критично важливими для процесів білкового синтезу й підтримання азотистого балансу, особливо під час росту та відновлення тканин (Gorissen & Witard, 2018). Натомість замінні амінокислоти, такі як аланін чи аспарагінова кислота, беруть участь у метаболічних шляхах глюконеогенезу та виведенні надлишкового аміаку, забезпечуючи енергетичну рівновагу організму (van Vliet, Burd, & van Loon, 2015). Крім того, амінокислоти в білкових продуктах існують у двох формах: вільній та зв'язаній (Dimina, Rémond, Huneau, & Mariotti.,2022). Вільні амінокислоти не включені в пептидні ланцюги й не потребують додаткового протеолітичного гідролізу для абсорбції, що забезпечує їх швидке всмоктування в кров та швидке залучення до метаболічних процесів в організмі. Після перетравлення формується запас вільних амінокислот під час гідролізу білка, які виконують роль запасного матеріалу для біосинтезу нових тканин або слугують джерелом енергії. Натомість зв'язані амінокислоти ковалентно утримуються

в структурі пептидів і білків, що уповільнює їх вивільнення під час гідролізу та забезпечує поступове й рівномірне постачання амінокислот у кровотік.

У білкових концентратах із вмістом ядер плодів *Arachis hypogaea*, де відбувається поєднання молочних білків, що мають високу біодоступність з комплементарним вмістом сірковмісних (метіонін, цистин) і розгалужених (валін, ізолейцин, лейцин) амінокислот з рослинними білками арахісу, ймовірно дозволить сформувати збалансований амінокислотний профіль молочно-рослинного концентрату з підвищеною оцінкою амінокислотної якості білка з урахуванням його засвоюваності (*Protein Digestibility-Corrected Amino Acid Score – PDCAAS*) (FAO/WHO, 2013) та підвищеною утилітарністю незамінних амінокислот. Відомі дослідження (Herreman, Nommensen, Pennings, & Laus, 2020), де продукти, в яких поєднанні молочні й рослинні білки мали вищу біологічну цінність порівняно з продуктами, які містили тільки молочні або рослинні білки, завдяки синергетичному доповненню лімітуючих амінокислот. Наразі відсутні дані про якісний та кількісний склад амінокислот у молочно-рослинних концентратах із ядрами плодів *Arachis hypogaea*, що визначає актуальність подальших досліджень.

Наступним етапом роботи було визначення амінокислотного складу та біологічної цінності молочно-рослинного концентрату порівняно з молочно-білковим. Було виконано аналіз профілю незамінних амінокислот і їх пропорційної відповідності ідеальному еталону шляхом визначення амінокислотного скору. На рис. 6.1 подано амінограму (графічне відображення сигналу детектора (мВ) у залежності від часу елюції окремих амінокислот із колонки хроматографа), отриману в результаті аналізу концентратів молочно-білкового (а) та молочно-рослинного (б) методом вискоєфективної рідинної хроматографії. Аналізуючи представлені порівняльні хроматограми амінокислотних профілів двох концентратів видно, у хроматограмі «а», що належить молочно-білковому концентрату, спостерігаються характерно високі піки для лейцину (ретенційний час $\approx$ 60 хв, амплітуда сигналу $\approx$ 40 мВ) та для глютамінової кислоти (ретенційний

час ≈ 25 хв, амплітуда сигналу ≈ 35 мВ). У хроматограмі «б», що відповідає молочно-рослинному концентрату, усі піки мають дещо знижену амплітуду – зокрема максимальний пік лейцину не перевищує ≈ 30 мВ, що корелює зі зменшеним загальним вмістом білка в цьому зразку.

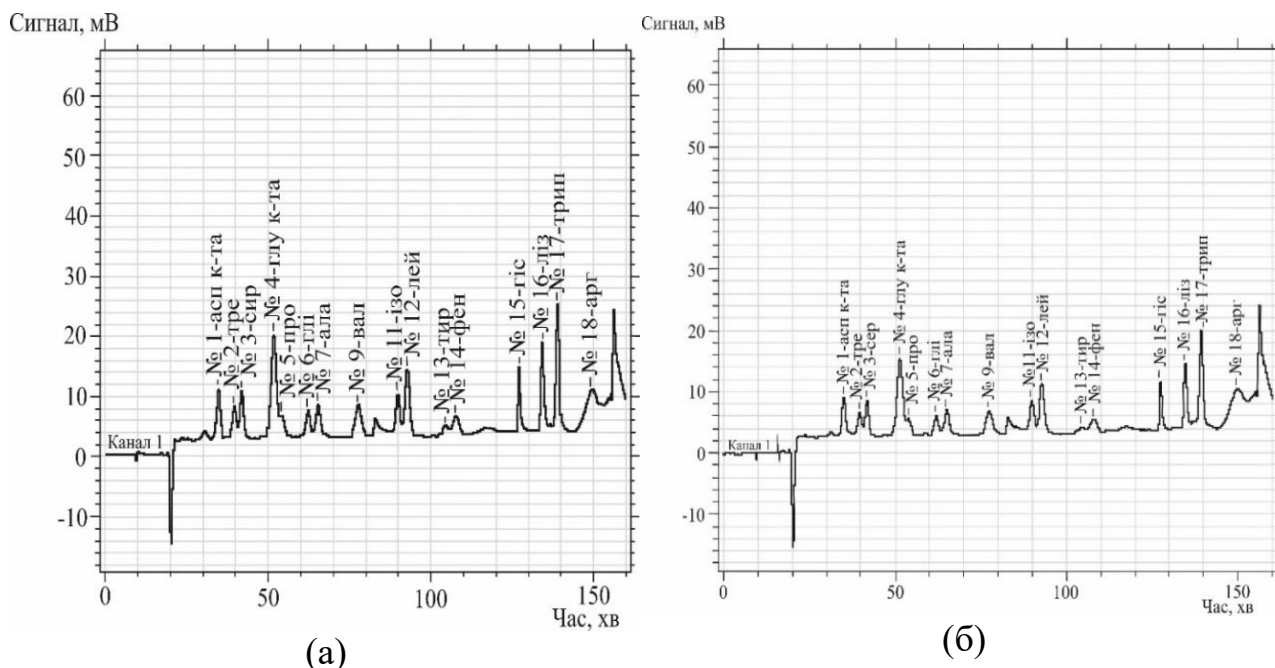


Рисунок 6.1 – Амінограма концентратів молочно-білкового (а) та молочно-рослинного (б)

Кількісні показники вмісту (мг/100 г сухої речовини) та відсоткове співвідношення незамінних і замінних амінокислот у молочно-білковому та молочно-рослинному концентратах представлено у табл. 6.1.

Таблиця 6.1 – Амінокислотний склад молочно-білкового та молочно-рослинного концентратів

Назва амінокислоти	Молочно-білковий концентрат (контроль)		Молочно-рослинний концентрат	
	мг / 100 г	% до заг. суми	мг / 100 г	% до заг. суми
<i>Незамінні амінокислоти:</i>				
валін	990,00	5,51	699,82	5,49
ізолейцин	1000,00	5,57	704,04	5,53

лейцин	1850,00	10,30	1304,05	10,24
лізин	1450,00	8,08	1019,71	8,01
метіонін	480,00	2,67	346,65	2,72
треонін	800,00	4,46	564,91	4,44
триптофан	185,00	1,03	131,25	1,03
фенілаланін	930,00	5,18	657,55	5,16
Всього	7685,00	42,80	5427,98	42,62
<i>Замінні амінокислоти:</i>				
аланін	440,00	2,45	315,63	2,48
аргінін	810,00	4,51	586,62	4,61
аспарагінова кислота	1000,00	5,57	716,15	5,62
гістидин	560,00	3,12	396,39	3,11
гліцин	260,00	1,45	192,22	1,51
глутамінова кислота	3300,00	18,38	2339,14	18,37
пролін	2000,00	11,14	1414,72	11,11
серін	820,00	4,57	581,27	4,56
тирозин	930,00	5,18	656,52	5,15
цистин	150,00	0,84	108,98	0,86
Всього	10270,00	57,20	7307,65	57,38
Загальна кількість амінокислот	17955,00	100,00	12735,62	100,00
Співвідношення суми незамінних амінокислот до суми замінних амінокислот	0,75		0,74	

В результаті проведеного рідинно-хроматографічного аналізу (рис. 6.1) та кількісного визначення амінокислот (табл. 6.1) встановлено, що молочно-рослинний концентрат містить 12735,62 мг/100 г, тоді як у молочно-білковому (контроль) цей показник дорівнює 17955,00 мг/100 г. Зниження загальної кількості амінокислот на 29 % зумовлене нижчим вмістом білка в сироватково-рослинній суспензії, яка містить 5,3 % білка (результати представлені в п. 3.2). Аналіз незамінних амінокислот (НАК) виявив, що їх сумарна концентрація у молочно-рослинному концентраті зменшилася на 29,3 % – з 7685,00 до 5427,98 мг. Спостерігаються найістотніші втрати лізину на 29,7 % (1019,71 мг проти 1450,00 мг в контролі) та ізолейцину на 29,6 % (704,04 мг проти 1 000,00 мг). Вміст метіоніну знижується на 27,8 % (346,65 мг проти 480,00 мг), що пояснюється високою концентрацією сірковмісних амінокислот у ядрах плодів *Arachis hypogaea*. Серед замінних амінокислот сумарна кількість знизилася на 28,9 % – з 10270,00 до 7307,65 мг, при цьому відносний вміст цистину зріс із 0,84 % до 0,86 % за рахунок присутності фракцій рослинних білків. Співвідношення НАЗ/ЗАК у молочно-рослинному концентраті на рівні 0,74, що майже не відрізняється від цього ж показника молочного білка – 0,75 та свідчить про збереження амінокислотного балансу у зразку, тобто про співвідношення амінокислот у концентраті порівняно з ідеальним профілем. Це дозволяє оцінити, наскільки продукт близький до оптимальної формули амінокислот за FAO/WHO. Лімітуючими амінокислотами (ті, що мають найнижчий амінокислотний скор) залишаються лізин та розгалужені амінокислоти – валін, ізолейцин, лейцин. Зниження концентрації цих амінокислот може негативно вплинути на синтез м'язового білка та порушити азотистий баланс організму людини (Paoletti, Elango, & Courtney-Martin, 2024).

Інтегральні показники оцінки біологічної цінності концентратів молочно-білкового (контроль) та молочно-рослинного наведено у табл. 6.2 та 6.3, а саме сукупні кількісні показники, які об'єднують кілька параметрів амінокислотного профілю в єдину числову характеристику якості білка.

Таблиця 6.2 – Амінокислотний скор молочно-білкового та молочно-рослинного концентратів

Незамінні амінокислоти (НАК)	Ідеальний білок		Молочно-білковий концентрат (контроль)					Молочно-рослинний концентрат				
	масова частка НАК, мг/100 г білку	аміно-кислотний скор, %	НАК, мг/100 г білку	масова частка НАК (А), мг/100 г білку	аміно-кислотний скор (АС), %	коефіцієнт надлишковості НАК (σнад)	різниця амінокислотного скору (Δ РАС), %	НАК, мг/100 г білку	масова частка НАК, мг/100 г білку	аміно-кислотний скор, %	коефіцієнт надлишковості НАК (σнад)	різниця амінокислотного скору (Δ РАС), %
Валін	5,00	100,00	990,00	5,51	110,28	0,50	10,03	699,82	5,49	109,90	0,38	7,68
Ізолейцин	4,00	100,00	1000,00	5,57	139,24	1,56	38,99	704,04	5,53	138,20	1,44	35,99
Лейцин	7,00	100,00	1850,00	10,30	147,19	3,29	46,94	1304,05	10,24	146,28	3,08	44,06
Лізин	5,50	100,00	1450,00	8,08	146,83	2,56	46,58	1019,71	8,01	145,58	2,38	43,36
Метіонін + цистин	3,50	100,00	630,00	3,51	100,25	0,00	0,00	455,63	3,58	102,22	0,00	0,00
Треонін	4,00	100,00	800,00	4,46	111,39	0,45	11,14	564,91	4,44	110,89	0,35	8,68
Триптофан	1,00	100,00	185,00	1,03	103,04	0,03	2,78	131,25	1,03	103,06	0,01	0,84
Фенілаланін+ тирозин	6,00	100,00	1860,00	10,36	172,65	4,34	72,40	1314,07	10,32	171,97	4,19	69,75
Сума АК, мг / 100 г білку			17955,00					12735,62				
Сумарна масова частка НАК, мг / 100 г білку	36,00			48,82					48,63			

Таблиця 6.3 – Інтегральні показники оцінки біологічної цінності молочно-білкового та молочно-рослинного концентратів

Показник	Молочно-білковий концентрат (контроль)	Молочно-рослинний концентрат
Сума різниці амінокислотного скору (Δ РАС), %	228,86	210,35
Коефіцієнт різниці амінокислотного скору, КРАС	28,61	26,29
Біологічна цінність, БЦ	71,39	73,71
Коефіцієнт утилітарності НАК продукту (U)	0,739	0,754
Коефіцієнт надлишковості НАК продукту ($\sigma_{\text{над}}$)	12,694	11,576
Коефіцієнт раціональності амінокислотного складу продукту ($R_{\text{рац}}$)	0,739	0,754

Так, коефіцієнт утилітарності НАК (U) або коефіцієнт різниці амінокислотного скору (КРАС) враховують одночасно величини амінокислотних скорів усіх незамінних амінокислот та рівень їх збалансованості відносно ідеальної шкали FAO/WHO. Саме ці комплексні показники дозволяють порівнювати біологічну цінність різних білкових продуктів на основі всіх ключових параметрів амінокислотного складу. Коефіцієнт утилітарності незамінних амінокислот (U), який відображає здатність організму використовувати сумарно всі незамінні амінокислоти продукту, зріс на 0,015, що становить на $\approx 2,0$ % більше у молочно-рослинному концентраті, це свідчить про покращену відповідність амінокислотного профілю фізіологічним потребам. Параметр надлишковості амінокислотного скору ($\sigma_{\text{над}}$), який характеризує суму відхилень скору

кожної незамінної амінокислоти від скору лімітуючої, зменшився на 1,118, що відповідає зменшенню на 8,8 %, вказуючи на раціональніше розподілення амінокислот і зниження надлишків. Коефіцієнт різниці амінокислотного скору ($KPAC = \sigma_{\text{над}} / \Delta RAS_{\text{ідеал}}$) також зріс на 0,015, що свідчить про більш ефективне використання всіх незамінних амінокислот унаслідок збільшення вмісту суми лімітуючих амінокислот – метіоніну + цистину. В результаті біологічна цінність (БЦ) молочно-рослинного концентрату зросла на 2,32 %, що доводить позитивний вплив додавання ядер плодів *Arachis hypogaea* в молочно-рослинну суміш для коагуляції. Введення білкової фракції арахісу не лише зберігає, але й покращує амінокислотну якість білка згідно з критеріями PDCAAS та амінокислотного складу (Schaafsma, 2000). Зокрема, зростання вмісту лімітуючих амінокислот є ключовим чинником підвищення біологічної цінності та підтримки азотистого балансу в організмі людини.

Молочно-рослинний концентрат з ядрами плодів *Arachis hypogaea* має високий амінокислотний баланс, який підтверджується покращенням інтегральних показників якості білка ($U = 0,754$; $KPAC = 0,754$; $БЦ = 73,71\%$), незважаючи на зниження загальної кількості амінокислот на 29 %. Збільшення вмісту лімітуючих амінокислот – метіонін + цистин сприяв раціоналізації амінокислотного профілю та підвищенню біологічної цінності концентрату. Таким чином, синергетичне поєднання білків молока та ядер плодів арахісу дозволяє рекомендувати його використання в якості білкової основи в технології ферментованих молочно-рослинних продуктів.

6.2. Удосконалення технології ферментованих молочно-рослинних продуктів

Ферментовані молочні продукти охоплюють широку групу виробів, серед яких особливе місце посідають сиркові вироби та сиркові напівфабрикати. Ці продукти відрізняються не лише своїм різноманіттям смаків та текстур, але й технологією виробництва.

Дослідження, що проведені на попередніх етапах, необхідні та в повній мірі достатні для удосконалення технології ферментованих молочно-

рослинних продуктів та здійснюється на основі класичної схеми у наступній послідовності:

- приймання і підготовка сировини і матеріалів;
- приготування сироватково-рослинної суспензії;
- приготування молочно-рослинної суміші;
- отримання молочно-рослинного концентрату термокислотним або кислотно-сичужним способом;
- внесення рецептурних компонентів в молочно-рослинний концентрат;
- зберігання ферментованих молочно-рослинних продуктів на основі молочно-рослинних концентратів.

Молоко-сировину та сироватку молочну контролюють за показниками якості та безпечності, сортують, очищують, охолоджують до температури 4 ± 2 °C та зберігають не більше 6 год. Ядра плодів *Arachis hypogaea* піддають попередньої термічній обробці за температури 120 °C протягом 30–35 хв для інактивації ферментів. Далі їх замочують у воді на 480 хв для набухання, після промивають 2–3 рази для видалення механічних включень. Підготовлені ядра плодів *Arachis hypogaea* заливають підсирною молочною сироваткою температурою 70 °C у співвідношенні до плодів 5:1, після чого отриману суміш подрібнюють до гомогенного стану протягом 4–5 хв в диспергаторі зі швидкістю 1000 с^{-1} . Отриману сироватково-рослинну суспензію фільтрують та вносять у підготоване знежирене молоко. Молочно-рослинні суміші готують із знежиреного молока та сироватково-рослинної суспензії у співвідношенні компонентів 7:3.

Отримання молочно-рослинного концентрату термокислотним способом здійснюють за температури 92 ± 2 °C шляхом змішування молочно-рослинної суміші з кислою молочною сироваткою, кислотність якої становить 150 ± 10 °T у співвідношенні 1:10 ÷ 5:10 та витримують протягом 4 ± 1 хв. Утворений зрусок далі піддають самопресуванню протягом

30 ±2 хв. Отриманий МРК температурою 36±1 °С інокуюють заквашувальним препаратом *Probat 222* у кількості 10 DCU, вносять молокозсідальний фермент *CAGLIO Marschall TM «Danisco»* (згідно рекомендацій виробника) та водний розчин 40%-го хлористого кальцію (20–40 г безводної солі на 100 кг молока) та перемішують протягом 5–10 хвилин на низьких обертах, уникаючи надмірного механічного впливу, щоб не пошкодити структуру згустку. Залишають для ферментації за оптимальної температури 36±1 °С протягом 4–5 годин. Після закінчення ферментації концентрат охолоджують до температури 4±2 °С для припинення молочнокислого бродіння, що супроводжується нарощуванням кислотності.

Отримання молочно-рослинного концентрату кислотнo-сичужним способом починають з пастеризації підготовленої молочно-рослинної суміші за температури 74±2 °С з витримкою 20–30 с. Пастеризовану молочно-рослину суміш охолоджують у теплий період року до температури 28–30 °С, а у холодний до 30–32 °С та інокують заквашувальним препаратом *Probat 222* у кількості 10 DCU. Тривалість ферментації молочно-рослинної суміші 6–8 год. Після закінчення сквашування вживають заходи щодо прискорення вилучення сироватки: готовий згусток розрізають спеціальними дротяними ножами на кубики розміром по ребру біля 2 см. Розрізаний згусток залишають у спокої протягом 40–60 хв для нарощування кислотності. Для інтенсифікації процесу синерезису використовують підігрівання отриманого згустку до температури 36–40 °С з витримкою 15–20 хв. Для кінцевого видалення сироватки від згустку і отримання МРК використовують самопересування, а потім примусове пресування. Відпресований концентрат охолоджують до температури 4±2 °С для припинення молочнокислого бродіння, що супроводжується нарощуванням кислотності.

Технологічна схема виробництва молочно-рослинних концентратів наведена на рисунку 6.2.

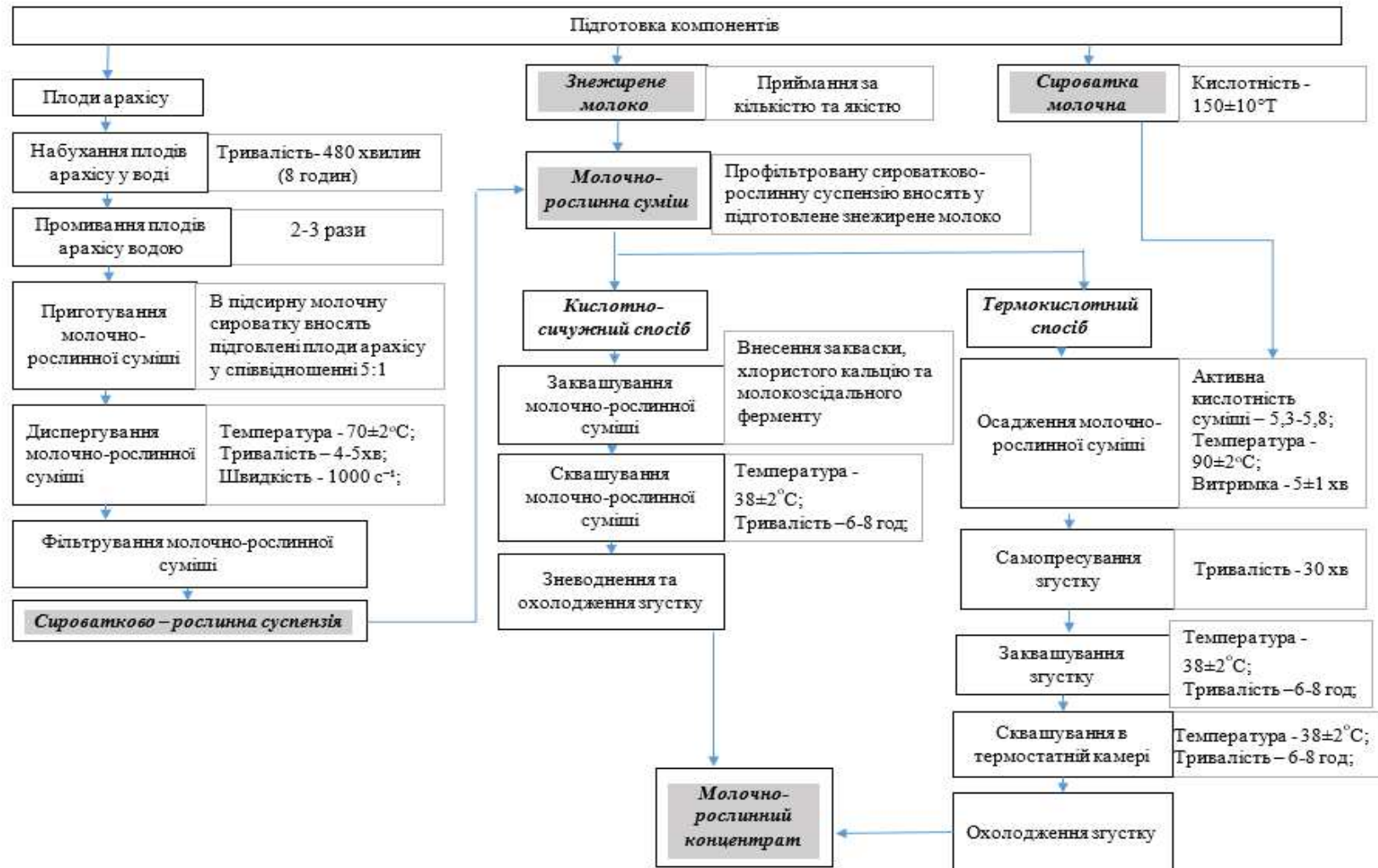


Рисунок 6.2. Технологічна схема виробництва молочно-рослинних концентратів

Для підготовки рецептурних компонентів перед їх додаванням до молочно-рослинних концентратів здійснюють ряд попередніх операцій.

Цукор білий та сіль згідно з вимогами ДСТУ 3826, обов'язково пропускають через спеціальне сито з розміром пор, що відповідає номерам 1,2–1,4. Це необхідно для видалення можливих сторонніх домішок та запобігання утворенню грудочок, що сприяє рівномірному розподілу цукру в готовому продукті. З метою забезпечення однорідного аромату в усій масі готового виробу, ванілін / ароматизатор, попередньо змішують з невеликою частиною цукрового піску / сіллю, взятою із загальної кількості, що передбачена рецептурою. Сушену зелень приймають згідно вимог ДСТУ 8645:2016. Перед внесенням в молочно-рослинну основу, зелень попередньо відновлюють в окропі протягом 10-15хв. Ядра горіхів обробляють окропом, що сприяє легкому відділенню тонкої шкірки, яка може надавати готовому продукту гіркуватий присмак. Після цього очищені ядра уважно перебирають, видаляючи зіпсовані або неякісні екземпляри та інші випадкові домішки. Підготовлені горіхи обсмажують, постійно помішуючи, до набуття ними світло-коричневого відтінку, що покращує їх смакові якості та аромат. Обсмажені горіхи залишають охолоджуватися до кімнатної температури перед подальшим використанням у виробництві. Желатин промивають під проточною питною водою за температури 5–20 °С, потім заливають водою та залишають для набухання на 1–1,5 год. Далі готують желатиново-вершкову суміш: набряклий желатин заливають вершками, нагрівають до 63 ± 2 °С, витримують до 30 хв, після чого охолоджують до 43 ± 2 °С.

Технологія сирків глазуrowаних на основі концентрату отриманого термокислотним способом. Згідно з рецептурою (табл. 6.4) концентрат отриманий термокислотним способом та інші рецептурні компоненти подають в кутер, де відбувається приготування сиркової маси за температури не вище 10 °С. Потім отримана маса охолоджується до 2–3 °С для запобігання втрати форми заготовок. Формування циліндрів сирків з начинкою здійснюється на формувальному автоматі, що працює за

принципом шнекової екструзії та має два бункери для сиркової маси й начинки. Сиркова маса формується як циліндр, у який з іншого бункера вводиться начинка меншого діаметра.

Таблиця 6.4 – Типові рецептури на сирки глазуровані (в кг на 1000 кг продукту), без урахування втрат

Найменування сировини	З ваніллю	З родзинками, курагою, цукатами	З горіхами	З плодово-ягідними наповнювачами
Молочно-рослинний концентрат (термокислотним способом)	539	539	539	539
Цукор-пісок (просіяний)	94	45,5	53,9	32
Ванілін	2,5	1,5	1,5	1,5
Масло солодковершкове 72,5%	162	162	151	162
Плодово-ягідні наповнювачі				63
Горіхи		49,5	52,1	
Глазур кондитерська	202,5	202,5	202,5	202,5
Всього:	1000	1000	1000	1000

Харчова цінність згідно рецептури на 100г продукту 294,6 ккал: білки – 3,34г, жири – 22,61г, вуглеводи – 20,88г.

Наступним етапом є розрізання маси спеціальним пристроєм (струною) або апаратом з діафрагментальною різкою. Слід враховувати, що при нагріванні, яке спричиняє розширення начинки, сиркова маса стає м'якшою, і

начинка може вийти назовні. Застосування діафрагментального розрізання, де краї трубки вальцюються, а мінімальна товщина стінки становить 5 мм (при розрізанні струною – 1–2,5 мм), є більш прийнятним. Подальшим етапом є глазурування та охолодження сформованого сирка, що здійснюється відповідно в глазурувальній машині та охолоджувальному тунелі з температурою від мінус 5 до мінус 3 °С. Після охолодження сирки з начинкою направляються до пакувального обладнання. Завершивши обробку, продукт охолоджують до температури, що не перевищує 4 ± 2 °С, та фасують. Якщо негайне охолодження сиркового продукту неможливе, його упаковують за температури від 11 до 15 °С і переміщують у холодильну камеру для подальшого охолодження до 4 ± 2 °С або нижче.

Технологія сиркової пасти солоної на основі концентрату отриманого кислотно-сичужним способом. У місильну машину (міксер), згідно з рецептурою (табл. 6.5), закладають концентрат отриманий кислотно-сичужним способом та основну сировину (вершки або суміш желатину з вершками), після часткового змішування вводять решту рецептурних компонентів і проводять повторне перемішування протягом 5-10 хвилин. Після завершення технологічної обробки, готову сиркову масу піддають охолодженню до температурного діапазону 4 ± 2 °С, далі спрямовують на пакування.

Технологічна схема виробництва ферментованих молочно-рослинних продуктів наведена на рисунку 6.3. Апаратурно-технологічна схема виробництва ферментованих молочно-рослинних продуктів представлена на рис 6.4, де позначено обладнання: 1, 8, 10, 15, 17, 19, 31, 32, 34, 37, 57 – насос відцентровий; 2 – деаератор; 3 – лічильник; 4 – фільтр; 5 – сепаратор-молокоочисник; 6, 35 – пластинчастий охолоджувач; 7 – резервуар для зберігання молока; 9, 33 – урівнювальний бачок; 11, 13, 18 – пластинчаста ПОУ з пультом керування; 12 – сепаратор-вершковідділювач; 14 – резервуар для зберігання вершків; 17 – резервуар для молочно-рослинної суміші; 20 – підйомник; 21 – машина мийна конвеєрна; 22 – конвеєр інспекційний

роликовий; 23 – елеватор; 24 – машина для температурної обробки; 25, 49 – насос шнековий; 26 – теплообмінник; 27 – ємність для замочування арахісу; 28 – машина для диспергування сироватково-рослинної суспензії; 29 – фільтр; 30 – збірник; 36 – резервуар для зберігання сироватки; 38 – коагулятор; 39 – охолоджувач молочно-рослинного концентрату; 40, 51 – ваги; 41, 43, 52, 54 – підйомник для візка; 42 – кутер; 44 – машина для формування сиркового циліндра; 45 – глазурувальна машина; 46 – тунель для застигання глазури; 47 – фасувальний автомат; 48 – резервуар для ферментації; 50 – модуль відділення сироватки; 53 – міксер «Stephan»; 55 – фасувальний автомат; 56 – ємність для набухання желатину.

Таблиця 6.5 – Типові рецептури на сиркові пасти солоні (в кг на 1000 кг продукту), без урахування втрат

Найменування сировини	З сіллю		З сушеною зеленню		З овочевими наповнювачами	
Молочно-рослинний концентрат (кисотно-сичужним способом)	879,3	918,3	864,8	903,8	848,8	887,8
Сіль (просіяна)	81,7	81,7	80,7	80,7	35,2	35,2
Петрушка сушена			15,5	15,5		
Крім сушений						
Овочевий наповнювач					75	75
Ароматизатор овочевий					2	2
Желатин	9		9		9	
Вершки	30		30		30	
Всього	1000	1000	1000	1000	1000	1000

Харчова цінність згідно рецептури на 100г продукту 50,25 ккал: білки – 3,21г, жири – 1,93г, вуглеводи – 5,34г.

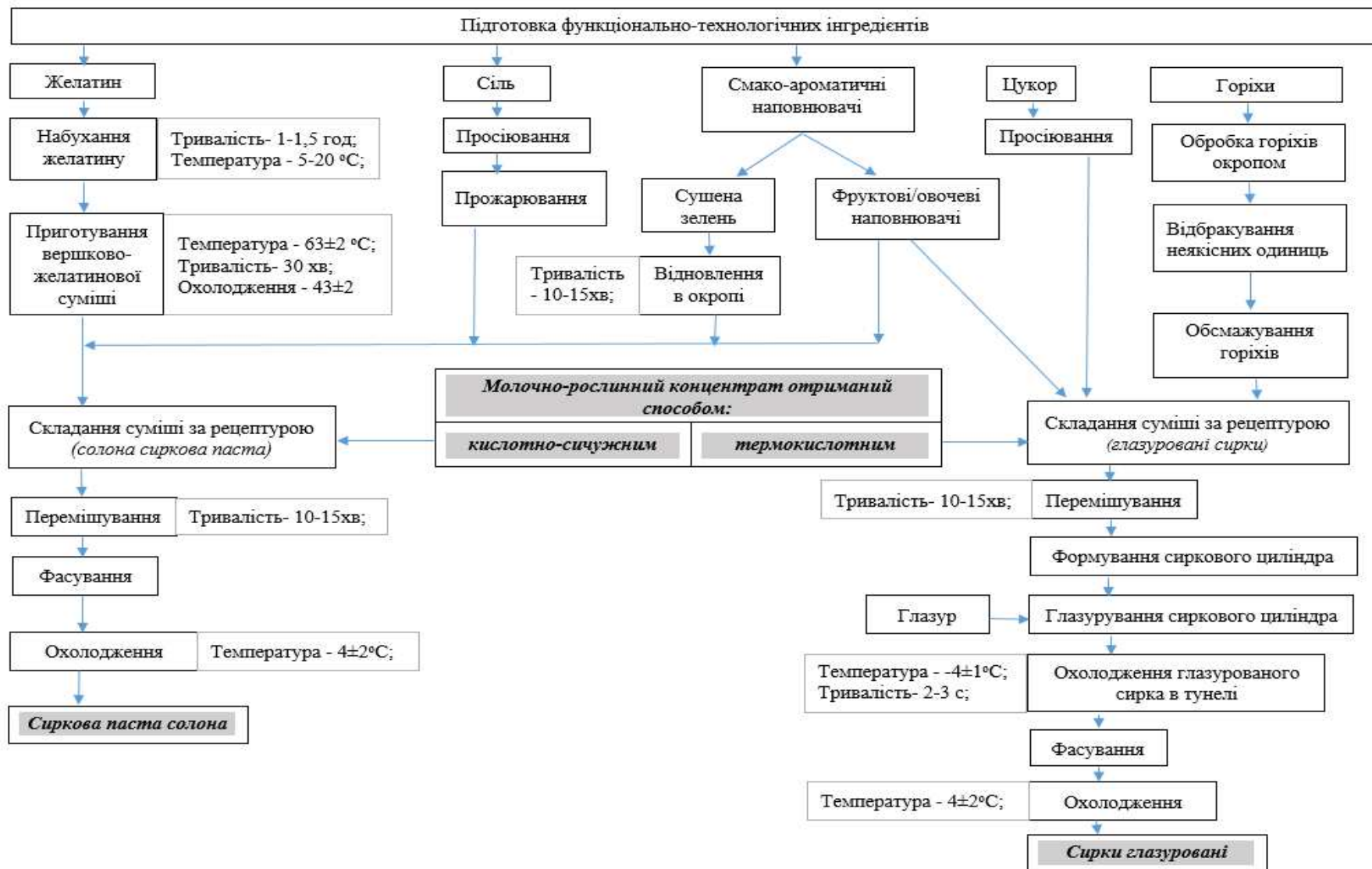


Рисунок 6.3 – Технологічна схема виробництва ферментованих молочно-рослинних продуктів

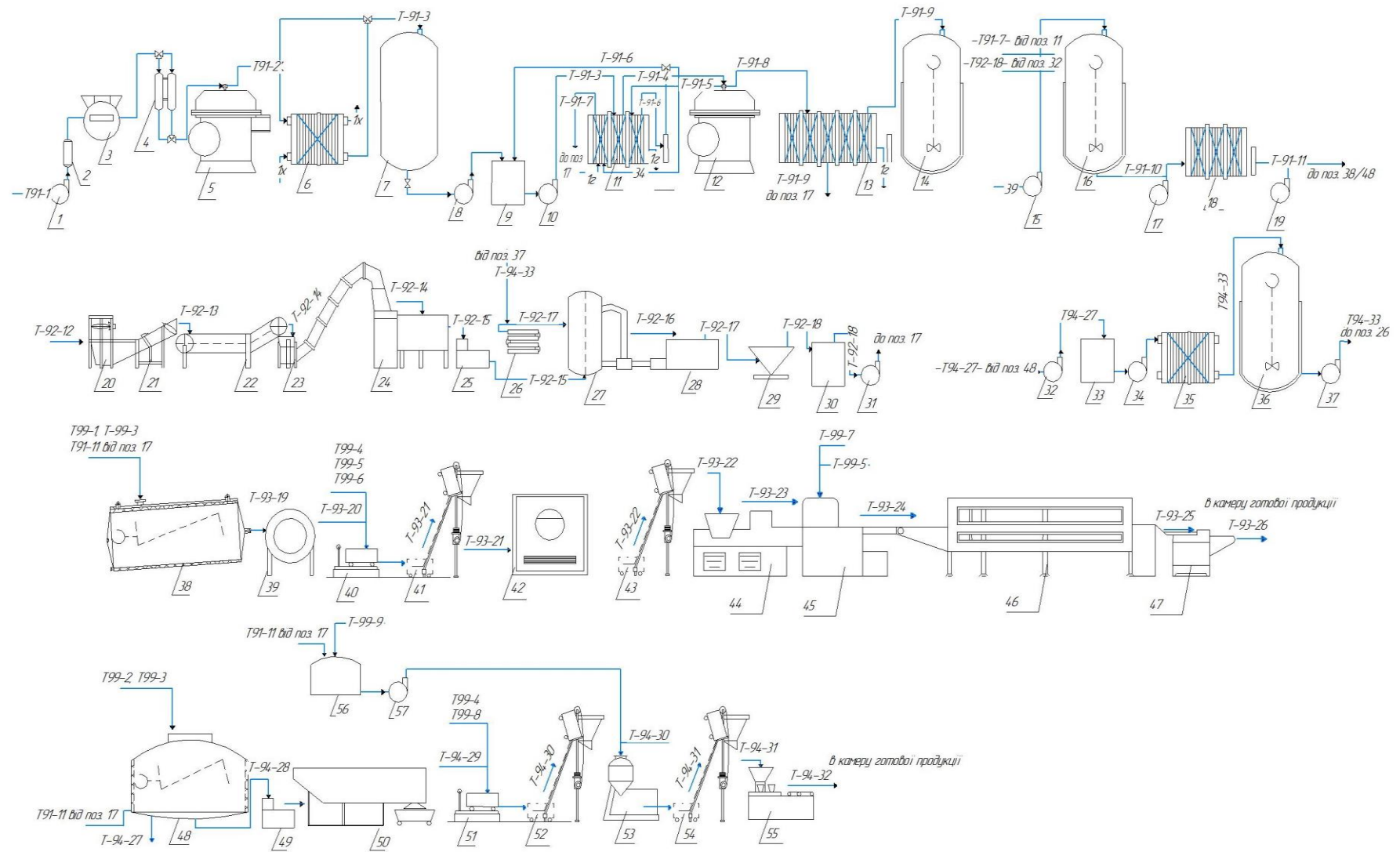


Рисунок 6.4 – Апаратурно-технологічна схема виробництва ферментованих молочно-рослинних продуктів

Позначення потоків: -T91-1 – молоко незбиране; -T91-2- – молоко незбиране очищене; -T91-3- – молоко незбиране очищене охолоджене; -T91-4- –молоко підігріте до температури сепарування; -T91-5- – молоко знежирене; -T91-6- – пастеризоване знежирене молоко; -T91-7- – молоко знежирене підігріте до температури складання суміші; -T91-8- – вершки; -T91-9- – пастеризовані вершки; -T91-10- – молочно-рослинна суміш; -T91-11- – молочно-рослинна суміш підігріта до температури коагуляції / ферментації; -T92-12- – ядра плодів *Arachis hypogaea*; -T92-13- – миті ядра плодів *Arachis hypogaea*; -T92-14- – ядра плодів *Arachis hypogaea* підготовлені до температурної обробки; -T92-15- ядра плодів *Arachis hypogaea* термічно оброблені; -T92-16- – замочені ядра плодів *Arachis hypogaea* та підготовлені до диспергування; -T92-17- – сироватково-рослинна суспензія не фільтрована; -T92-18- – профільтрована сироватково-рослинна суспензія; -T93-19- – молочно-рослинний згусток; -T93-20- – молочно-рослинний концентрат; -T93-21- – рецептурні компоненти для сирків глазурованих; -T93-22- – сиркова маса для сирків глазурованих; -T93-23- – сиркові циліндри для сирків глазурованих; -T93-24- – сирки глазуровані; -T93-25- – охолоджені сирки глазуровані; -T93-26- – фасовані сирки глазуровані; -T94-27- – сироватка з-під сиру кисломолочного; -T94-28- – молочно-рослинний згусток; -T94-29- – молочно-рослинний концентрат; -T94-30- – рецептурні компоненти для сиркової пасти солоної; -T94-31- – сиркова паста солонна; -T94-32- –фасована сиркова паста солонна; -T94-33- – охолоджена сироватка з-під сиру кисломолочного; -T99-1- – кисла молочна сироватка; -T99-2- – молокозсідальний фермент; -T99-3- заквашувальний препарат *Probat 222*; -T99-4- – смако-ароматичні компоненти; -T99-5- – цукор білий; -T99-6- – вершки або масло солодковершкове; -T99-7- – глазур; -T99-8- – сіль; -T99-9- – желатин.

Для оцінки якості розроблених ферментованих молочно-рослинних продуктів аналізували їх органолептичні, фізико-хімічні й мікробіологічні показники, як представлені в таблиці 6.6.

Таблиця 6.6 – Показники якості та безпечності ферментованих молочно-рослинних продуктів

Назва показника	Показники для ферментованих молочно-рослинних продуктів:	
	сирків глазуrowаних на основі концентрату отриманого термокислотним способом	сиркової пасти солоної на основі концентрату отриманого кислотнo-сичужним способом
Органолептичні показники		
Консистенція та зовнішній вигляд	Щільна, гомогенна, без грудочок та відчутних частинок внесених наповнювачів	Однорідна, ніжна, пластична, помірно мастка, з наявністю часток застосованих наповнювачів
Смак та запах	Характерний кисло-молочний, в міру солодкий, з легким ароматом арахісу	Характерний кисло-молочний, в міру солоний, з присмаком і запахом внесених наповнювачів та арахісу
Колір	Власиві шоколаду або іншим складникам глазури, без сторонніх присмаків та запахів	Кремовий, рівномірний по всій масі або обумовлений кольором уведеного наповнювача
Фізико-хімічні показники		
Активна кислотність, од. рН	5,5±0,2	5,4±0,2
Вологоутримуюча здатність, %	70±0,5	72±0,5
Масова частка води, %	77±1	79±1

Температура продукту, °С, не вище ніж	4±2		4±2
Мікробіологічні показники			
Кількість молочнокислих бактерій, КУО в 1 г продукту, не менше	норма	1,1·10 ⁷	1·10 ⁷
	1·10 ⁶		
Дріжджі, КУО в 1 г продукту, не більше	100	25	20
Пліснява, КУО в 1 г продукту, не більше	50	15	15
Бактерії групи кишкової палички (коліформи) в 0,3 г продукту	Не допускається	Не виявлено	Не виявлено
Патогенні мікроорганізми, в т. ч. <i>Salmonella</i> , в 25 г продукту	Не допускається	Не виявлено	Не виявлено
<i>Staphylococcus aureus</i> , в 1 г продукту	Не допускається	Не виявлено	Не виявлено
<i>Listeria monocytogenes</i> , в 25 г продукту	Не допускається	Не виявлено	Не виявлено

Таким чином, проведений комплексний аналіз органолептичних, фізико-хімічних і мікробіологічних показників засвідчив, що сирки глазуровані на основі концентрату, отриманого термокислотним способом та сиркова паста солоні на основі концентрату, отриманого кислотно-сичужним способом відповідають вимогам нормативної документації. Отримані результати підтверджують доцільність та ефективність удосконаленої технології ферментованих молочно-рослинних продуктів на основі молочно-рослинних концентратів з ядрами плодів *Arachis hypogaea*.

6.3. Вплив тривалості зберігання на показники якості та безпечності ферментованих молочно-рослинних продуктів

Тривалість зберігання суттєво впливає на стабільність фізико-хімічних, мікробіологічних та органолептичних показників ферментованих молочно-рослинних продуктів. У процесі зберігання в основному відбуваються зміни активної кислотності та вологоутримуючої здатності, що призводить до розвитку або пригніченню мікрофлори як корисної, так і сторонньої, яка може впливати на безпечність продуктів та зміну органолептичних показників. Особливо критичною є проблема синерезису в сирках глазурованих – самовільне виділення сироватки руйнує поверхневу глазур, що вважається технологічною вадою і призводить до зниження споживчих властивостей. Тому досліджено динаміку основних показників якості – кислотності та вологоутримуючої здатності, а також мікробіологічних показників протягом гарантованого терміну зберігання – 7 діб, які представлені на рис. 6.5 та табл. 6.7.

Порівняльний аналіз показав, що в сирках глазурованих на основі молочно-рослинного концентрату (МРК) зниження рН за 168 год було на 31 % меншим, ніж у сирках на основі молочно-білкового концентрату (МБК), а в сировій пасті солоній на основі МРК падіння рН виявилось на 20 % меншим порівняно з пастою на основі МБК.

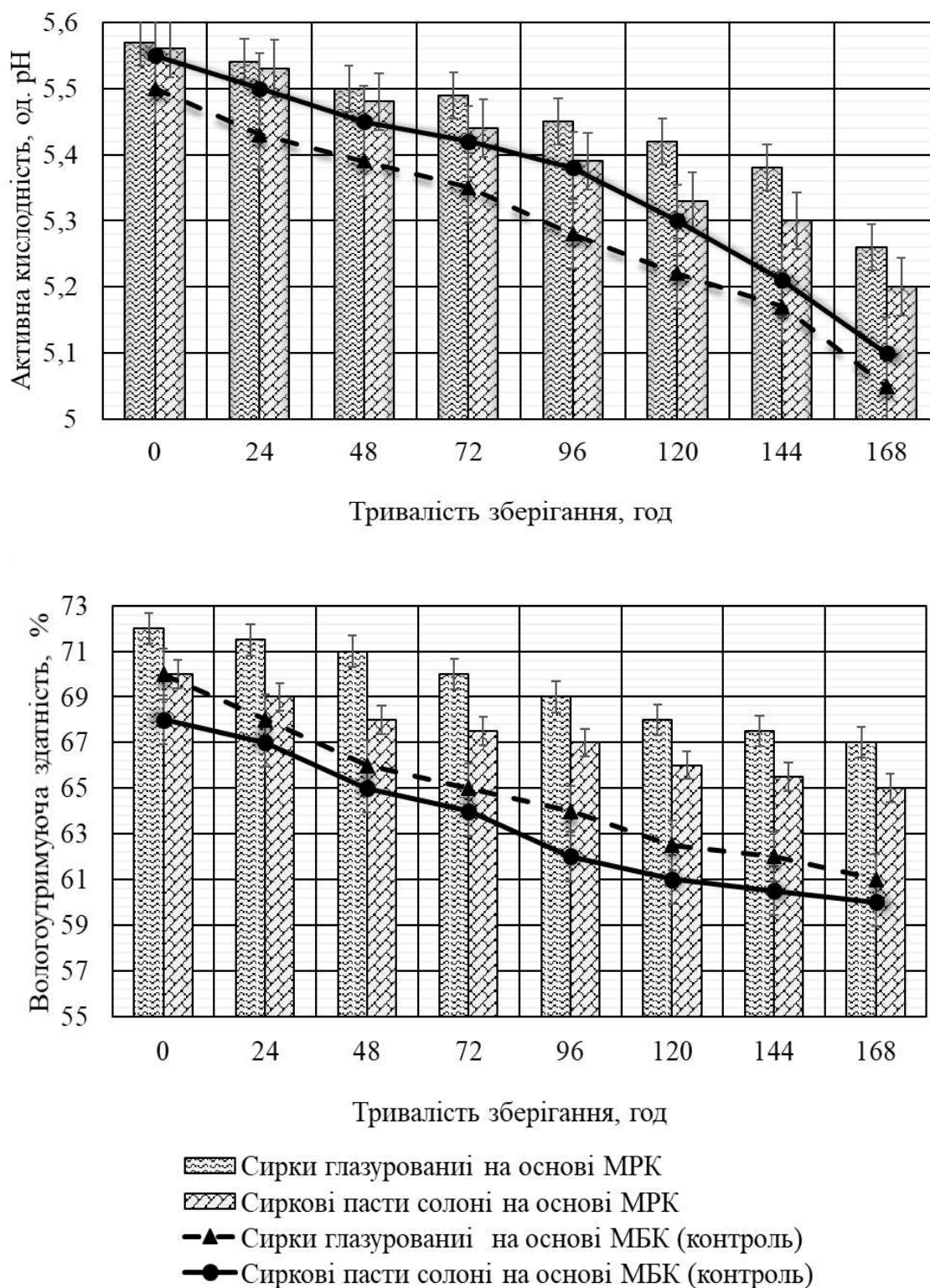


Рисунок 6.5 – Динаміка активної кислотності та вологоутримуючої здатності ферментованих продуктів молочно-рослинних та молочно-білкових (контроль) протягом терміну зберігання

Водночас вологоутримуюча здатність у сиркових виробих на основі МРК знизилася на 6,9 % від вихідного рівня, що на 44 % менше, ніж у продуктах на основі МБК, в яких цей показник знизився на 12,9 %. Аналогічна ситуація прослідковується для показника в сирковій пасті солоній: на основі МРК зниження на 7,1 %, що на 38 % меншими, ніж на основі МБК – 11,8 %. Проте статистичний аналіз показує відсутність суттєвих відмінностей між показниками кислотності та вологоутримуючої здатності в обох групах сиркових продуктів на основі МБК та МРК ($p > 0,05$), що свідчить про рівнозначну ефективність обох технологічних підходів у забезпеченні стабільності показників якості ферментованих молочно-рослинних продуктів протягом всього терміну зберігання.

Тривалість зберігання, технологічні та споживчі властивості сиркових виробів багато в чому визначається властивостями води, що в них міститься (Грек, Онопрійчук, Пасічний, Пшенична, & Чубенко, 2018). За рівнем показника активності води розрізняють продукти з вологістю: високою ($A_w = 1,0-0,9$), проміжною ($A_w = 0,9-0,6$) та низькою ($A_w = 0,6-0,0$). Від значення даного показника залежить інтенсивність реакцій окислення ліпідів, активність ферментативних, мікробіологічних та інших процесів, що відбуваються в продукті під час зберігання. За допомогою показника активності води встановлюється взаємозв'язок між наявністю в продукті доступної для мікроорганізмів води та ймовірності життєдіяльності тих чи інших видів мікрофлори, таким чином можна прогнозувати оптимальні умови та здатність до зберігання. Значення показника активності води в ферментованих молочно-рослинних продуктах, отриманих на основі молочно-рослинного концентрату способами коагуляції термокислотної (сирки глазуровані) або кислотно-сичужної (сиркові паста солоні) представлено на рисунку 6.6.

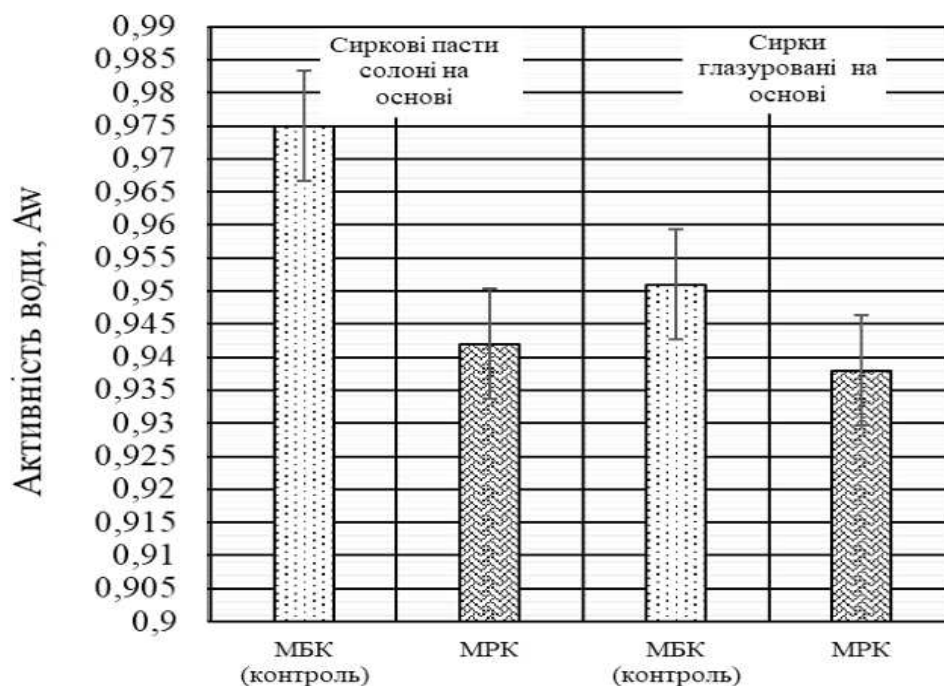


Рисунок 6.6. Активність води (A_w) ферментованих продуктів молочно-рослинних та молочно-білкових (контроль) ($n = 3$, $p \geq 0,05$)

Досліджувані ферментовані молочно-рослинні продукти відносяться до продуктів з високою вологістю ($A_w = 1,0-0,9$). Більша частина води знаходиться у вільному, не зв'язаному стані, що дає можливість розвитку біохімічних та окислювальних процесів. Такі продукти мають досить обмежений термін зберігання за відповідних температурних умов. У сирковій пасті солоній, виробленій на основі МРК, показник A_w знизився на 3,4 % в порівнянні з контролем, а в сирках глазурованих – на 1,4 %. Таким чином, введення адер плодів *Arachis hypogaea* спричиняє помірне зниження активності води, але не дозволяє здійснити перехід до продуктів в категорію з проміжною вологістю. Утримання більшої частини води у зв'язаному стані у ферментованих молочно-рослинних продуктах свідчить про посилене гелезв'язування полісахаридами й білками адер плодів *Arachis hypogaea* та дещо покращує мікробіологічну стійкість продуктів під час зберігання. Враховуючи, що різниця показника активності води між контрольними та дослідними зразками є неістотною ($p > 0,05$), можна рекомендувати

загальноприйняті умови зберігання – за температури $4\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ протягом 168 год (7 діб).

Після оцінки фізико-хімічних показників ферментованих молочно-рослинних продуктів, наступним етапом досліджень було вивчення динаміки мікробіологічних показників у процесі зберігання. Моніторинг рівня молочнокислих бактерій, дріжджів, плісняви та патогенних мікроорганізмів дозволяє встановити здатність продукту підтримувати пробіотичну активність та гарантувати його безпечність протягом всього терміну зберігання. Такий комплексний підхід забезпечує надійну оцінку якості ферментованих молочно-рослинних виробів від моменту виготовлення до закінчення строку придатності. Мікробіологічні показники ферментованих молочно-рослинних продуктів протягом терміну зберігання представлені в табл. 6.7. Систематичне дослідження мікробіологічних показників протягом 168 год (7 діб) зберігання показало, що кількість молочнокислих бактерій зберігається на рівні $1\cdot 10^7$ КУО/г до 120 год (5 діб), після чого незначно знижується до $1\cdot 10^6$ КУО/г на 168 год (7 діб), але залишається в межах нормативних показників ($\geq 1\cdot 10^6$ КУО/г). Концентрація дріжджів зросла з 20 до 45 КУО/г протягом першої доби і подальших 144 год додає ще 5 КУО/г, проте завжди перебуває нижче граничної норми 100 КУО/г. Показник пліснявих грибів підвищився з 15 до 35 КУО/г до кінця зберігання, але також не перевищив допустимого рівня 50 КУО/г. Коліформи, *Salmonella*, *Staphylococcus aureus* та *Listeria monocytogenes* у жодному зразку впродовж усього терміну не виявлені.

Таким чином, результати всіх проведених досліджень – фізико-хімічні (рН, ВУЗ, A_w) та мікробіологічні показники, однозначно підтвердили здатність розроблених ферментованих молочно-рослинних продуктів зберігати свою якість і безпечність протягом 7 діб (168 год) за температури $4\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це дає підстави рекомендувати зазначені режими зберігання для розроблених сиркових продуктів.

Таблиця 6.7 – Мікробіологічні показники ферментованих молочно-рослинних продуктів протягом терміну зберігання*

Найменування показника	Норма	Термін зберігання, год						
		24	48	72	96	120	144	168
Кількість молочнокислих бактерій, КУО в 1 г продукту	не менше $1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^7$	$1 \cdot 10^6$	$1 \cdot 10^6$
Кількість дріжджів в 1 г продукту, КУО	не більше 100	20	25	25	40	40	42	45
Кількість пліснявих грибів в 1 г продукту, КУО	не більше 50	15	15	20	25	25	30	35
Бактерії групи кишкової палички (коліформи) в 0,3 г продукту	не допускається	Не виявлено						
Патогенні мікроорганізми, в т. ч. <i>Salmonella</i> , в 25 г продукту	не допускається	Не виявлено						
<i>Staphylococcus aureus</i> , в 1 г продукту	не допускається	Не виявлено						
<i>Listeria monocytogenes</i> , в 25 г продукту	не допускається	Не виявлено						

* – наведені максимальні значення під час проведення досліджень

6.4. Промислова апробація та очікуваний соціально-економічний ефект від впровадження наукової розробки

На основі удосконаленої технології розроблена та затверджена у встановленому порядку нормативна документація ТУ У 10.5-0207 0938-319:2023 «Концентрат білковий молочно-рослинний» та ТУ У 10.5-0207 0938-332:2024 «Вироби сиркові» (додатки А, Б). Відповідно до вимог технологічної інструкції до ТУ У 10.5-0207 0938-319:2023 «Концентрат білковий молочно-рослинний» та ТУ У 10.5-0207 0938-332:2024 «Вироби сиркові» було проведено промислові апробації технології ферментованих молочно-рослинних продуктів у виробничих умовах ТОВ «Сандора» м. Вишневе Київської області (додаток В, Г).

Проведений розрахунок витрат за економічними елементам на реалізацію технології молочно-рослинних продуктів на основі молочно-рослиного концентрату з ядрами плодів *Arachis hypogaea* (напівфабрикату), що наведено у додатку Е. Усі розрахунки сукупних витрат на виготовлення та продаж 1 тонни продукції представлені у таблиці 6.8. Проведення розрахунків щодо економічної ефективності технології отримання молочно-рослинного концентрату (напівфабрикату) дають підстави для таких висновків: собівартість молочно-рослинного концентрату нижча на 3,22 % від собівартості молочно-білкового концентрату. Застосування цієї технології не потребує додаткових інвестицій у виробництво та може бути реалізоване на наявному обладнанні молочних підприємств.

Аналіз статей калькуляції показав, що застосування молочно-рослинного концентрату, як білкової основи для виробництва сиркових продуктів, забезпечує зниження собівартості готового виробу насамперед за рахунок матеріальних витрат: витрати на сировину й матеріали скоротилися на 3,7 % з 70002,15 до 67358,25 грн, що призвело до зменшення загально-виробничої собівартості на 3,3 % 82064,51 до 79420,61 грн. Витрати на адміністративні заходи знизилися з 2461,94 до 2382,62 грн, а на збут – з 1230,97 до 1191,31 грн. В результаті загальні витрати на виробництво

концентрату зменшилися з 85757,41 до 82994,53 грн, що становить економію на рівні 3,22 %.

Таблиця 6.8 – Зведена таблиця витрат на виробництво концентратів

Статті калькуляції	Концентрат (напівфабрикат)	
	Молочно-білковий	Молочно-рослинний
Сировина і матеріали	70002,15	67358,25
Паливо і енергія на технологічні цілі	7615,40	7615,40
Заробітна плата основних виробничих робітників	764,08	764,08
Відрахування на соціальні заходи	168,10	168,10
Витрати на утримання і експлуатацію устаткування	1986,61	1986,61
Загально-виробничі витрати	1528,16	1528,16
Виробнича собівартість	82064,51	79420,61
Адміністративні витрати*	2461,94	2382,62
Витрати на збут**	1230,97	1191,31
Всього	85757,41	82994,53
Зниження собівартості, %		3,22

*Адміністративні витрати складають 2-5 % від виробничої собівартості.

**Витрати на збут складають 1,5-3% від виробничої собівартості.

Соціальна значимість впровадження технології ферментованих молочно-рослинних продуктів на основі концентратів, вироблених з ядрами плодів *Arachis hypogaea* полягає у створенні інноваційних сиркових виробів із підвищеним вмістом білка та оптимальною білково-жировою структурою, що відповідають сучасним запитам на функціональні й дієтичні продукти. Поєднання білків молока (казеїну та сироваткових) та ядер плодів арахісу

дозволяє підвищити біологічну цінність готових сиркових виробів, забезпечуючи повноцінний амінокислотний профіль. Ядра плодів *Arachis hypogaea* доступний на внутрішньому ринку нашої країни, а його переробка може бути інтегрована у виробничий процес як окремо, так і на молокопереробному підприємстві на лініях будь-яких потужностей. Ферментовані молочно-рослинні продукти відзначаються вищою доступністю для споживачів із різним рівнем доходу завдяки зниженій собівартості та відсутності необхідності в імпортних інгредієнтах. Очікується, що нові види сирків глазуrowаних і сиркових паст солоних, вироблених на основі молочно-рослинного концентрату з ядрами плодів *Arachis hypogaea* здобудуть високий попит серед прихильників здорового харчування, що сприятиме покращенню продовольчої безпеки та загального стану здоров'я населення.

Висновки до розділу VI

За результати проведеного аналізу амінокислотного складу та інтегральних показників якості білка МРК, спостерігається не лише збереження, але й покращення якісних характеристик білкової фракції, що підтверджується зростанням коефіцієнта утилітарності незамінних амінокислот (U) та коефіцієнта різниці амінокислотного скору (КРАС), а також збільшенням біологічної цінності (БЦ) кінцевого молочно-рослинного концентрату. Зменшення параметру надлишковості амінокислотного скору (снад) свідчить про більш збалансований амінокислотний профіль, де знижується непродуктивне надлишкове вмісту окремих амінокислот. Ключову роль у цих позитивних змінах відіграє збільшення концентрації лімітуючих амінокислот, зокрема метіоніну та цистину, що є критично важливим для ефективного засвоєння та використання всього спектру незамінних амінокислот організмом. Незважаючи на певне зниження загальної кількості амінокислот, покращення їх співвідношення та збалансованості призводить до підвищення їхньої утилізації.

Запропоновано принципову технологічну та апаратурно-технологічну схеми виробництва ферментованих молочно-рослинних продуктів, а саме солоної сиркової пасти на основі концентрату отриманого кислотно-сичужним способом та сирків глазурованих з використанням концентрату отриманого термокислотним способом.

Результати порівняльного аналізу показників виробів під час зберігання демонструють, що використання молочно-рослинного концентрату (МРК) у виробництві сирків глазурованих та пасти сиркової солоної сприяє дещо меншому зниженню рН та кращому збереженню вологоутримуючої здатності протягом терміну зберігання порівняно з використанням молочно-білкового концентрату (МБК). Додавання ядер арахісу незначно знижує активність води у ферментованих молочно-рослинних продуктах, які залишаються в категорії продуктів з високою вологістю. Результати фізико-хімічних (рН, ВУЗ, A_w) та мікробіологічні показники, однозначно підтвердили здатність розроблених ферментованих молочно-рослинних продуктів зберігати свою якість і безпечність протягом 7 діб (168 год) за температури 4 ± 2 °С.

На основі удосконаленої технології розроблена та затверджена у встановленому порядку нормативна документація (ТУ, ТП), проведена промислова апробація в умовах промислового виробництва.

Розрахунок економічної ефективності показав, що собівартість молочно-рослинного концентрату є на 3,22% нижчою за молочно-білковий концентрат, а його виробництво не потребує додаткових інвестицій та може бути впроваджене на існуючому обладнанні молочних підприємств.

ВИСНОВКИ

Обґрунтовано доцільність застосування ядер плодів *Arachis hypogaea* як білкової рослинної сировини в технології ферментованих молочно-рослинних продуктів завдяки їх підвищеній біологічній цінності та органолептичній сумісності з молочною основою; проведено аналіз ключових прийомів попередньої обробки арахісу для зниження вмісту інгібіторів протеаз травної системи та підвищення функціональності білкової фракції.

Визначено раціональні параметри підготовки ядер плодів *Arachis hypogaea*: термічна обробка за температури 120 °С протягом 30–35 хв, замочування у воді протягом 480 хв, промивання 2–3 рази, змішування з сироваткою молочною температурою 70 °С у співвідношенні до ядер плодів арахісу як 5:1, диспергування протягом 4–5 хв при швидкості 1000 с⁻¹. Така сукупність параметрів забезпечує одержання стабільної молочно-рослинної суспензії з відповідними фізико-хімічними показниками та сприяє підвищенню перетравлюваність білків *in vitro* на 40–45 %, що вказує на покращену біодоступність білків.

Оптимізовано технологічні режими виробництва молочно-рослинних концентратів способом термокислотного осадження білків молочно-рослинної суміші, що передбачає використання молочно-рослинної суміші в кількості не більше 30 % сироватково-рослинної суспензії та гідромодулем 1:5, який забезпечує максимальну вологоутримуючу здатність на рівні 76 %. Процес коагуляції здійснюється за температури 92±2 °С з витримкою протягом 5±1 хв, що дозволяє сумісно осадити молочні та рослинні білки, формуючи згусток з високим вмістом зв'язаної води та покращеними реологічними характеристиками. Розроблені математичні моделі, що описують вихід та функціонально технологічні властивості молочно-рослинних концентратів, залежно від кількості вміст сироватково-рослинної суспензії, гідромодуль, тривалість самопересування.

Проаналізовано процес ферментації молочно-рослинних концентратів, отриманих методами термокислотної або кислотно-сичужної коагуляції, інокульованих заквасочним препаратом *Probat 222*. Раціональна кількість внесення закваски становить 10 DCU, яка забезпечує розвиток молочнокислої мікрофлори до рівня 5–6 log КУО/г протягом 4–5 год з досягненням рН 4,2–4,3 без надмірного кислотоутворення.

Досліджено функціонально-технологічні властивості молочно-рослинних концентратів, отриманих термокислотним та кислотно-сичужним способами за варіативного вмісту сироватково-рослинної суспензії. Для термокислотного осадження оптимальним виявилось використання 30 % суспензії при гідромодулі 1:3 та самопресуванні 30 хв, що забезпечує вихід концентрату близько 36 % з вологоутримуючою здатністю до 88 %; при кислотно-сичужній коагуляції – суспензії 30 %, гідромодуль 4:1 або 7:3 досягається вихід концентрату – 22,8–24,7 % з вологоутримуючою здатністю 73,8–76,2 %.

Виявлено вплив методів коагуляції на структуроутворення молочно-рослинних концентратів із ядрами плодів *Arachis hypogaea*: при термокислотній коагуляції формуються щільні агрегати з домінуванням вільної води та загальною втратою маси 22,5 %, тоді як при кислотно-сичужній коагуляції переважає частки фізико-хімічно зв'язаної води (7,5 %) та утворення стабільної тривимірної матриці з ефективною в'язкістю 70,0 Па·с ($\gamma = 10,15 \text{ с}^{-1}$), однорідним розподілом жирових включень і зменшеним об'ємом мікропор. Це підтверджує можливість цілеспрямованого регулювання структурно-функціональних властивостей концентратів шляхом вибору способу коагуляції.

Встановлено, що у ферментованих молочно-рослинних концентратах з ядрами плодів *Arachis hypogaea* знижується загальний вміст амінокислот на 29 %, але інтегральні показники покращуються: біологічна цінність підвищується на 2,32 %, коефіцієнт утилітарності незамінних амінокислот зростає на 2,03 %, а коефіцієнт надлишковості – знижується на 8,81 %

порівняно з молочно-білковим концентратом, що свідчить про раціоналізацію амінокислотного профілю завдяки синергічному доповненню лімітуючих амінокислот.

Обґрунтовано раціональні технологічні параметри розробленої технології ферментованих молочно-рослинних продуктів, отриманих способом сумісної коагуляції білків: кислотно-сичужним – для сиркової пасти солоної або термокислотним – для сирків глазурованих. Розроблено технологічну та апаратурно-технологічну схеми виробництва молочно-рослинних концентратів з ядрами плодів *Arachis hypogaea* та сиркових виробів на їх основі.

Здійснено комплексну оцінку якості ферментованих молочно-рослинних продуктів протягом 168 год (7 діб) зберігання за температури (4 ± 2) °C за органолептичними, фізико-хімічними та мікробіологічними показниками. Статистичний аналіз результатів досліджень не виявив суттєвих відмінностей між показниками якості сиркових продуктів, вироблених на основі концентратів молочно-рослинного та молочно-білкового, що свідчить про рівнозначну ефективність обох технологічних підходів у забезпеченні стабільності якості продуктів протягом зберігання.

Розроблено та затверджено проекти нормативної документації ТУ У 10.5-0207 0938-319:2023 «Концентрат білковий молочно-рослинний» та ТУ У 10.5-0207 0938-332:2024 «Вироби сиркові». Проведено промислові апробації технології ферментованих молочно-рослинних продуктів у виробничих умовах ТОВ «Сандора» м. Вишневе Київської області. Проведені розрахунки економічної ефективності технології виробництва молочно-рослинного концентрату свідчать про зниження його собівартість на 3,22 % порівняно із собівартістю молочно-білкового концентрату.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Adama, K. K., Afolayan, M. O., Oberafo, A. A., & Thomas, S. (2014). Isolation and physicochemical characterization of tigernut (*Cyperus esculentus*) starch as a potential industrial biomaterial. *Int. J. Mat. Sci. Appli.*, 3(2), 37-41.

Adel, A. A. M., Awad, A. M., Mohamed, H. H., & Iryna, S. (2015). Chemical composition, physicochemical properties and fatty acid profile of Tiger Nut (*Cyperus esculentus* L) seed oil as affected by different preparation methods. *International Food Research Journal*, 22(5), 1931-1938.

Agrahar-Murugkar, D. (2015). Effect of different process parameters on the quality of soymilk and tofu from sprouted soybean. *J. Food Sci. Technol.*, 52, 2886-2893. URL: <https://doi.org/10.1007/s13197014-1320-z>.

Albuquerque, E., Almeida, F. A. C., Gomes, J. P., Alves, N. M. C., & Silva, W. P. (2015). Production of “peanut milk” based beverages enriched with umbu and guava pulps. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(1), 61-67.

Ahmad, A., Verma, H. N., Bharti, P., Pandey, K., Khan, S., & Dev, K. (2019). Protein purification from *Arachis hypogaea* in one step: stability studies and anticarcinogenic analysis. *Food science and biotechnology*, 29(1), 35–43. DOI:10.1007/s10068-019-00638-0.

Albuquerque, E. M. B., Almeida, F. A. C., Gomes, J. P., Alves, N. M. C., & Silva, W. P. (2013). Production of “peanut milk” based beverages enriched with umbu and guava pulps. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*, 14(1), 1-7. DOI:10.1016/j.jssas.2013.07.002.

Alexandridis, D., Kleisiari, C., & Vlontzos, G. (2024). Consumers' behavior toward plant-based milk alternatives, *Proceedings*, 94(60), 1-4. DOI:10.3390/proceedings2024094060.

Ali, F., Tian, K., & Wang, Z. X. (2021). Modern techniques efficacy on tofu processing: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 116, 766-785. DOI:10.1016/j.tifs.2021.07.023.

Al-Saedi, N., Agarwal, M., Ma, W., Islam, S., & Ren, Y. (2020). Study on Effect of Extraction Techniques and Seed Coat on Proteomic Distribution and Cheese Production from Soybean Milk. *Molecules*, 25(14), 3237. DOI:[10.3390/molecules25143237](https://doi.org/10.3390/molecules25143237).

Amaro-Hernández, J. C., Olivas, G. I., Acosta-Muñiz, C. H., Gutiérrez-Méndez, N., Rios-Velasco, C., & Sepulveda, D. R. (2021). Chemical interactions among caseins during rennet coagulation of milk. *Journal of Dairy Science*, 105(2), 981-989. URL: <https://doi.org/10.3168/jds.2021-21071>

Arafat, S. A., Said, A. M., & Arafat, M. M. (2019). Nutritional Value of Tiger Nut (*Cyperus esculentus* L.) Tubers and Its Products. *J Biol Chem and Environ Sci.*, 14(1), 301-318.

Aydar, E. F., Tutuncu, S., & Ozcelik, B. (2020). Plant-based milksubstitutes: bioactive compounds, conventional and novelprocesses, bioavailability studies, and health effects. *Journal of Functional Foods*, 70. DOI:[10.1016/j.jff.2020.103975](https://doi.org/10.1016/j.jff.2020.103975).

Bazine, T., & Arslanoglu, S. F. (2020). Tiger nut (*Cyperus esculentus*); morphology, products, uses and health. *Black Sea Journal of Agriculture*, 3(4), 324-328.

Besir, A., Awad, N., Mortas, M., & Yazici, F. (2022). A Plant-based milk type: Hemp seed milk. *Akademik Gıda*, 20(2), 170-181. DOI: [10.24323/akademik-gida.1149875](https://doi.org/10.24323/akademik-gida.1149875).

Beux, S., Andrade Pereira, E., Cassandro, M., Nogueira, A., & Waszczynskyj, N. (2017). Milk coagulation properties and methods of detection. *Ciência Rural*, 47(10), 2-6.

Bittante, G., Penasa, M., & Cecchinato, A. (2012). Genetic and modelling of milk coagulation properties. *Journal of Dairy Science*, 12, 6843-6870. DOI:[10.3168/jds.2012-5507](https://doi.org/10.3168/jds.2012-5507).

Bu, G. H., Luo, Y. K., Zhang, Y., & Chen, F. (2010). Effects of fermentation by lactic acid bacteria on the antigenicity of bovine whey proteins. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 90(12), 2015–2020.

Cabanillas, B., Maleki, S. J., Rodríguez, J., Burbano, C., Muzquiz, M., Jiménez, M. A., ... Crespo, J. F. (2012). Heat and pressure treatments effects on peanut allergenicity. *Food Chemistry*, 132(1), 360-366.

Cao, F., Li, X., Luo, S., Mu, D., Zhong, X., Jiang, S., Zheng, Z., & Zhao, Y. (2017). Effects of organic acid coagulants on the physical properties of and chemical interactions in tofu. *LWT*, 85, 58-65. DOI:10.1016/j.lwt.2017.07.005

Chauhan, R., Ruby, S. A., & Dwivedi, J. (2012). Arachis hypogaea mine of essential nutrients and phytonutrients. *International Journal of Pharmaceutical Sciences Review and Research*, 15(1), 99-110.

Chawafambira, A., Jombo, T., & Mkungunugwa, T. (2022). Effect of lacticaseibacillus rhamnosus yoba fermentation on physicochemical properties, amino acids, and antioxidant activity of cowpea-peanut milk. *Journal of Food Quality*, 1, 1-10.

Chen, C., Hsieh, J., & Kuo, M. (2023). Insight into the Processing, Gelation and Functional Components of Tofu: A Review. *Processes*, 11(1), 202. DOI:10.3390/pr11010202.

Chen, N., Zhao, M., Niepceron, F., Nicolai, T., & Chassenieux, Ch. (2017). The effect of the pH on thermal aggregation and gelation of soy proteins. *Food Hydrocolloids*, 66, 27-36. URL: <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2016.12.006>

Chinprahast, N., Subhimaros, S., & Pattorn, S. (2015). Heat-acid coagulation of market-retained UHT milk using various coagulants and calcium chloride. *International Food Research Journal*, 3, 943-952.

Codina-Torrella, I., Guamis, B., & Trujillo, A. (2015). Characterization and comparison of tiger nuts (*Cyperus esculentus* L.) from different geographical origin: Physico-chemical characteristics and protein fractionation. *Industrial Crops and Products*, 65, 406-414.

Cui, S., McClements, D. J., Xu, X., Jiao, B., Zhou, L., Zhou, H., ... Dai, L. (2023). Peanut proteins: Extraction, modifications, and applications: A comprehensive review. *Grain & Oil Science and Technology*, 6(3), 135-147. DOI:10.1016/j.gaost.2023.07.001.

Dabiga, A., & Sion, I. (2012). Aspects concerning coagulation enzymes and different inducing parameters for milk curdling process. *Food and Environment Safety*, 4, 87-92.

David, J. (2014). Development of peanut paneer from the admixture of peanut milk and skimmed milk. *Research Journal of Animal Husbandry and Dairy Science*, 5(2), 113-115.

Degon, J. G., Zheng, C., Elkhedir, A. E., Bo, Y., Zhou, Q., & Li, W. (2021). Effect of microwave pre-treatment on physical quality, bioactive compounds, safety risk factor, and storage stability of peanut butter. *Oil Crop Science*, 6(23), DOI: 10.1016/j.ocsci.2021.07.006.

Dekhtyarenko, N. V., & Dugan, O. M. (2011). Features of preparation and fermentation of soy milk by representatives of the genus *Lactobacillus*. *Scientific news National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute*, 3, 34-39.

Deziderio, M. A., de Souza, H. F., Kamimura, E. S., & Petrus, R. R. (2023). Plant-based fermented beverages: Development and characterization. *Foods*, 12, 4128. DOI:10.3390/foods12224128.

Eke-Ejiofor, J. (2015). Effect of Tiger Nut Residue Flour Inclusion on the Baking Quality of Confectionaries. *Journal of Food Research*, 4, 172-180.

Elsamania, M. O., & Ahmed, I. A. M. (2016). Physicochemical characteristics and organoleptic properties of peanut milkased fortified with skimmed milk product. *Journal of Research in Applied Science*, 1(4), 68-72.

Eltom, H. A. E., Sulieman, M. A., & Hassan, A. B. (2022). Effect of boiling and roasting processing on nutritional quality of two Sudanese peanuts (*Arachis hypogaea*) cultivars. *Legume Science*, 5, 1-9. DOI:10.1002/leg3.159.

Gambo, A., & Da'u, A. (2014). Tiger nut (*Cyperus esculentus*): composition, products, uses and health benefits – a review. *Bayero Journal of Pure and Applied Sciences*, 7(1), 56-61.

Gelaye, Y., & Luo, H. (2024). Optimizing peanut (*Arachis hypogaea* L.) production: genetic insights, climate adaptation, and efficient management practices: Systematic review. *Plants*, 13(21), 2988. DOI:10.3390/plants13212988.

Gharibzahedi, S. M. T., & Smith, B. (2021). Legume proteins are smart carriers to encapsulate hydrophilic and hydrophobic bioactive compounds and probiotic bacteria: a review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 20, 1250–1279. DOI: 10.1111/1541-4337.12699.

Gıdık, B., Can, Z., & Önemli, F. (2024). Total polyphenol, total phenolic and antioxidant activities of different peanut (*Arachis hypogaea* L.) market types by different techniques combined with chemometrics (PCA and HCA). *Chemistry & Biodiversity*, 21(4), e202301419. DOI:10.1002/cbdv.202301419.

Gnitsevych, B., Yudina, T., & Deinychenko, L. (2017). Technology and biological value of products from milk-protein concentrate. *International Scientific-Practical Journal Commodities and Markets*, 23(1), 139-148.

Gomes, I., Venâncio, A., Lima, J., & Freitas-Silva, O. (2021). Fruit-based non-dairy beverage: A new approach for probiotics. *Advances in Biological Chemistry*, 11, 302-330, DOI: 10.4236/abc.2021.116021.

Grasso, N., Alonso-Miravalles, L., & O'Mahony, J. A. (2020). Composition, Physicochemical and Sensorial Properties of Commercial Plant-Based Yogurts. *Foods*, 9(3), 252. DOI: 10.3390/foods9030252.

Grek, O., Onopriichuk, O., Tymchuk, A., & Chubenko, L. (2017), Determination of moisture connection forms of protein-herbal clots, *Ukrainian Food Journal*, 6(3), 534-542.

Grek, O., Onopriichuk, O., & Pshenychna, T. (2017). The rationalization of the parameters of milk proteins' thermo acid coagulation by berry coagulants. *Food and Environment Safety*, 16(1), 47-53.

Grek, O., Pshenychna, T., Tymchuk, A., Savchenko, O., & Ochkołyas, O. (2020). Research of quality indicators in protein-blueberry concentrates. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 14, 156-163.

Gugsa, T., & Yaya, E. E. (2018). Chemical constituents of the traditional skin care and fragrance nut, *Cyperus esculentus* (Tigernut). *American Journal of Essential oils and natural products*, 6(4), 4-12.

Hanusova, J., Mihulova, M., Diblikova, L., & Curda, L. (2014). Influence of Salts on Selective Coagulation of Whey Proteins and their Application in the Isolation of β -Lactoglobulin. *Czech J. Food Sci.*, 32(1), 77-81.

Hsiao, Y. H., Yu, C. J., Li, W. T. & Hsieh, J. F. (2015). Coagulation of β -conglycinin, glycinin and isoflavones induced by calcium chloride in soymilk. *Sci. Rep.*, 5, 13038. DOI:10. 1038/srep13018.

Imo, Ch., Uhegbu, F. O., Arowora, K. A., Ezeonu, C. S., Opara, I. J., Nwaogwugwu, C. J., & Anigbo, C. J. (2019). Chemical composition of *Cyperus esculentus* nut and *Phoenix dactylifera* fruit. *African Journal of Biotechnology*, 8(19), 408-415. DOI: 10.5897/AJB2018.1655.

Jain, P., Yadav, D. N., Rajput, H., & Bhatt, D. K. (2013). Effect of pressure blanching on sensory and proximate composition of peanut milk. *Journal of food science and technology*, 50(3), 605–608. URL: <https://doi.org/10.1007/s13197-011-0373-5>.

Jin, Y., Liu, L. S., Zhang, X. F., Zhang, Q., Bai, J., Guo, H., & Peng, Y. J. (2020). Effects of coagulation temperature on gelling properties and chemical forces of lactone tofu. *Food Sci.*, 636, 58-64. DOI: 10.7506/spkx1002-6630-20200602-027.

Kundu, P., Dhankhar, J., & Sharma, A. (2018), Development of non dairy milk alternative using soymilk and almond milk. *Current Research in Nutrition and Food Science*, 6 (1), 203-210. DOI: 10.12944/ CRNFSJ.6.1.23.

Legeza, D., Brunner, T., Kerimova, Y., Kulish, T., & Konovalenko, A. (2019). Model of consumer buying behavior in relation to eco-intelligent products in catering. *Innovative marketing (Business Perspectives)*, 15, 54-65.

Lehnert, S., Khomenko, O., Dubinina, A., Malyuk, L., Skyrda, O., & Radchenko, A. (2019). Development of peanut quality criteria for determination of its rational use. *Sci. innov.*, 15(5), 23-33.

Li, Q., & Zhao, Z. (2019). Acid and rennet-induced coagulation behavior of casein micelles with modified structure. *Food Chemistry*, 291, 231-238. DOI:10.1016/j.foodchem.2019.04.028.

Lopes, M., Pierrepont, C., Duarte, C. M., Filipe, A., Medronho, B., & Sousa, I. (2020). Legume Beverages from Chickpea and Lupin, as New Milk Alternatives. *Foods*, 9(10), 1458. DOI:10.3390/foods9101458.

Ludwig, D. S., Hu, F. B., Tappy, L., & Brand-Miller, J. (2018). Dietary carbohydrates: role of quality and quantity in chronic disease. *British Medical Journal*, 361, 23-40. DOI:10.1136/bmj.k2340.

Madsen, S. K., Thulesen, E. T., Mohammadifar, M. A., & Bang-Berthelsen, C. H. (2021). Chufa Drink: Potential in Developing a New Plant-Based Fermented Dessert. *Foods*, 10(12), 3010. DOI: 10.3390/foods10123010.

Maduka, N., & Ire, F. S. (2018). Tigernut plant and useful application of tigernut tubers (*Cyperus esculentus*) – a review. *Current Journal of Applied Science and Technology*, 29(3), 1-23.

Makinen, O. E., Wanhalinna, V., Zannini, E., & Arendt, E. K. (2015). Foods for special dietary needs: non-dairy plant-based milk substitutes and fermented dairy-type products. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56(3), 339-349.

Messina, M., & Messina, V. (2024). Health and functional advantages of cheese containing soy protein and soybean-derived casein. *Front. Plant Sci.* 15, 1407506. DOI: 10.3389/fpls.2024.1407506.

Min, M., Bunt, C. R., Mason, S. L., & Hussain, M. A. (2018). Non-dairy probiotic food products: An emerging group of functional foods. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 58, 1-16.

Mironova, I. V. (2020). Soft cheese with flax seeds. *In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 613(1), 012084.

Munekata, P. E. S., Domínguez, R., Budaraju, S., Roselló-Soto, E., Barba, F. J., Mallikarjunan, K., ... Lorenzo, J. M. (2020). Effect of innovative food processing technologies on the physicochemical and nutritional properties and

quality of non-dairy plant-based beverages. *Foods*, 9(3), 288. DOI: 10.3390/foods9030288.

Nayik, G. A., Gull, A., Masoodi, L., Navaf, M., Sunooj, K. V., Ucak, İ., ... Mugabi, R. (2024). Milk proteins: chemistry, functionality and diverse industrial applications, *Cogent Food & Agriculture*, 10(1), 2377686, DOI: 10.1080/23311932.2024.2377686.

Ndife, J., Imade, I., & James, S. (2021). Production and quality evaluation of soy cheese (tofu) using various coagulants. *Croatian Journal of Food Science and Technology*, 13(1), 36-42. DOI:10.17508/CJFST.2021.13.1.05.

Novik, A., Lapytska, N., Lystopad, T., Boychenko, P., & Savchenko, A., (2022). Development of the technology of a high-protein fermented drink on a plant basis. *BHT: Biota. Human. Technology*, 2, 93-105.

Oladele, A. K., Adebowale, J. O., & Bamidele, O. P. (2017). Phenolic profile and antioxidant activity of brown and yellow varieties of tigernut (*Cyperus esculentus* L.). *Niger. Food J.*, 35, 51-59.

Olajuyigbe, F. (2013) Optimized production and properties of thermostable alkaline protease from *Bacillus subtilis* SHS-04 grown on groundnut (*Arachis hypogaea*) meal. *Advances in Enzyme Research*, 1, 112-120. DOI: 10.4236/aer.2013.14012.

Olaoye, O. A. (2016). Determination of amino acids and physico-chemical properties of juice samples produced from five varieties of tigernut (*Cyperus esculentus*). *Chem. Res. J.*, 1, 1-6.

Omrani Khiabani, N., Motamedzadegan, A., Naghizadeh Raisi, S., Alimi, M. (2020). Chemical, textural, rheological, and sensorial properties of wheyless feta cheese as influenced by replacement of milk protein concentrate with pea protein isolate. *Journal of texture studies*, 51(3), 488-500. DOI: 10.1111/jtxs.12508.

Osintsev, A. M., Gromov, E. S., & Braginsky, V. I. (2013). A phenomenological model of milk coagulation. *Foods and Raw Materials*, 1, 11-18.

Oyeyinka, A. T., Odukoya, J. O., & Adebayo, Y. S. (2019). Nutritional composition and consumer acceptability of cheese analog from soy and cashew nut milk. *Journal of Food Processing and Preservation*, 43(12). DOI: [10.1111/jfpp.14285](https://doi.org/10.1111/jfpp.14285).

Pina-Pérez, M. C., & Ferrús Pérez, M. A. (2018). Antimicrobial potential of legume extracts against foodborne pathogens: a review. *Trends in Food Science & Technology*, 72, 114-124. URL: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.12.00>

Qian, F., Sun, J., Cao, D., Tuo, Y., Jiang, S., & Mu, G. (2017). Experimental and modelling study of the denaturation of milk protein by heat treatment. *Korean J. Food Sci. An.*, 37(1), 44-51.

Qin, P., Wang, T., & Luo, Y. (2022). A review on plant-based proteins from soybean: Health benefits and soy product development. *Journal of Agriculture and Food Research*, 7, 100265. DOI: [10.1016/j.jafr.2021.100265](https://doi.org/10.1016/j.jafr.2021.100265)

Reyes-Jurado, F., Soto-Reyes, N., Dávila-Rodríguez, M., Lorenzo-Leal, A.C., Jiménez-Munguía, M. T., Mani-López, E., & López-Malo, A. (2021). Plant-based milk alternatives: types, processes, benefits, and characteristics. *Food Reviews International*, 39(6), 1-32.

Rinaldoni, A. N., Palatnik, D. R., Zaritzky, N., & Campderros, M. E. (2014). Soft cheese-like product development enriched with soy protein concentrates. *LWT-Food science and Technology*, 55(1), 139-147.

Rybak, O. (2014). The role of milk proteins in the structure formation of dairy products. *Ukrainian food journal*, 3(3), 350-360. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/UFJ_2014_3_3_5.

Sá, A. G. A., Moreno, Y. M. F., & Carciofi, B. A. M. (2020). Plant proteins as high-quality nutritional source for human diet. *Trends in Food Science & Technology*, 97, 170-184.

Sakthi, T. S., Meenakshi, V., Kanchana, S., & Vellaikumar, S. (2020). Study on Standardisation and Quality Evaluation of Peanut Milk by Different Processing Methods. *European Journal of Nutrition & Food Safety*, 12(5), 60-72. DOI: [10.9734/ejnfs/2020/v12i530228](https://doi.org/10.9734/ejnfs/2020/v12i530228).

Salinas-Valdés, A., De la Rosa Millán, J., Serna-Saldívar, S. O., & Chuck-Hernández, C. (2015). Yield and textural characteristics of panela cheeses produced with dairy-vegetable protein (soybean or peanut) blends supplemented with transglutaminase. *Journal of food science*, 80(12), S2950–S2956.

Sanjana, K., Hema, V., & Sinija, V. R. (2022). Development of plant based milk beverage from coconut and cashew nut milk. *Pharma Innovation*, 11(7):3743-3748.

Sarkiyayi, S., & Kanu, V. C. (2019). Chemical composition of two varieties of *Arachis hypogaea*. *Direct Research Journal of Agriculture and Food Science*, 7(7), 173-180. DOI: 10.5281/zenodo.3262324.

Senchenkova, E., & Borovskaya, L. (2021). The process of coagulation of milk proteins. *The scientific heritage*, 80, 28-31.

Seong, G. U., Kim, J. S., Kim, J. Y., Park, S. H., Cho, J. H., Lee, J. Y., ... Kang, J. W. (2022). Quality characteristics of plant-based rice milk prepared with different rice varieties. *Korean J. Food Preserv*, 29(3), 395-406.

Sethi, S., Tyagi, S. K., & Anurag, R. K. (2016). Plant-based milk alternatives an emerging segment of functional beverages: a review. *Journal of Food Sci-ence and Technology*, 53 (9), 3408-3423.

Settaluri, V. S., Kandala, C. V. K., Puppala, N., & Sundaram, J. (2012). Peanuts and Their Nutritional Aspects – A Review. *Food and Nutrition Sciences*, 3, 1644–1650.

Shen, P. (2021). Ferreting out the secrets of industrial hemp protein as emerging functional food ingredients. *Trends in Food Science & Technology*, 112, 1-15.

Singh, N. (2017). Pulses: an overview. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 853-857. DOI: 10.1007/s13197-017-2537-4.6

Singh, Sh., Singh, S., & Dubey, R. P. (2018). Chemical analysis of peanut milk. *The Pharma Innovation Journal*, 7(10), 1-2.

Slyvka, N., Bilyk, O., Mikhailytska, O., & Nagovska, V. (2019). Improvement of technology of curd products with succade from pumpkin.

Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies, 21(92), 47-52. DOI:10.32718/nvlvet-f9209.

Souza, F. R. M., Santos, N. G. S., Padilha, D. de M. M., Bezerra, D. S., Felipe, M. B. M. C., & Ramalho, H. M. M. (2020). Probiotic fermented milk drink added with cashew pulp (*Anacardium occidentale*): formulation, physicochemical, microbiological and sensory characteristics. *Research, Society and Development*, 9(8), e990986753. URL: <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i8.6753>.

Suleiman, M. S., Olajide, J. E., & Omale, J. A. (2018). Proximate composition, mineral and some vitamin contents of tigernut (*Cyperus esculentus*). *Clinical Investigation*, 8(4), 161-165.

Swelam, S., Zommara, M. A., Abd El-Aziz, A. E. A. M., Elgammal, N. A., Baty, R. S., & Elmahallawy, E. K. (2021). Insights into Chufa Milk Frozen Yoghurt as Cheap Functional Frozen Yoghurt with High Nutritional Value. *Fermentation*, 7(4), 255. URL: <https://doi.org/10.3390/fermentation7040255>.

Troch, T., Iefébure, É., Baeten, V., Colinet, F., Gengler, N., & Sindic, M. (2017). Cow milk coagulation: Process description, variation factors and evaluation methodologies. A review. *BASE*, 21(4), 276–287. DOI:10.25518/1780-4507.13692.

Tulbek, M. C., Lam, R. S. H., Wang, Y. (C.), Asavajaru, P., & Lam, A. (2017). Pea: a sustainable vegetable protein crop. *Sustainable Protein Sources*. Academic Press, London, UK, pp. 145-164. DOI: 10.1016/B978-0-12-802778-3.00009-3.

Verfaillie, D., Royen, G. V., Janssen, F., & Wouters, A. (2022). A systematic study of the impact of the isoelectric precipitation process on the physical properties and protein composition of soy protein isolates. *Food Research International*, 163(1–3), 112177. DOI:10.1016/j.foodres.2022.112177.

Wakil, S. M., Ayenuro, O. T., & Oyinlola, K. A. (2014). Microbiological and nutritional assessment of starter-developed fermented tigernut milk. *Food Nutri. Sci.*, 5, 495-506.

Wang, J., Li, Y., Li, A., Liu, R. H., Gao, X., Li, D., ... Xue, Z. (2021). Nutritional constituent and health benefits of chickpea (*Cicer arietinum* L.): A review. *Food research international*, 150, 110790. DOI:10.1016/j.foodres.2021.110790.

Win, M. M., Abdul-Hamid, A., Baharin, B. S., Anwar, F., & Saari, N. (2011). Effects of roasting on phenolics composition and antioxidant activity of peanut (*Arachis hypogaea* L.) kernel flour. *European Food Research and Technology*, 233(4), 599-608. DOI:10.1007/s00217-011-1544-3.

Wusigale, L. L., & Luo, Y. (2020). Casein and pectin: Structures, interactions, and applications. *Trends in Food Science and Technology*, 97, 391-403. DOI:10.1016/j.tifs.2020.01.027.

Yang, W. W., Mwakatage, N., Goodrich-Schneider, R., Krishnamurthy, K., & Rababah, T. (2012). Mitigation of major peanut allergens by pulsed ultraviolet light. *Food and Bioprocess Technology*, 5(7), 2728–2738. DOI:10.1007/s11947-011-0615-6.

Yoon, S.H. (2015). Physical and chemical characteristics of chufa (*Cyperus esculentus* L.) oils extracted from chufa tubers grown in the mid-portion of Korea. *Food Science and Biotechnology*, 24, 2027-2029. DOI:10.1007/s10068-015-0268 8.

Yu, J., Ahmedna, M., Goktepe, I., Cheng, H., & Maleki, S. J. (2011). Enzymatic treatment of peanut kernels to reduce allergen levels. *Food Chemistry*, 127(3), 1014-1022. DOI:10.1016/j.foodchem.2011.01.074

Yurova, T. A., Povstyanoi, V. M., & Andreeva, V. V. (2021). Development of yogurt production technology using soy milk. Proceedings of the International Scientific and Practical Internet Conference of Young Scientists and Students ["Resource-saving technologies of light, textile and food industries"], Khmelnytsky, 196-197.

Zahran, H. A., & Tawfeuk, H. Z. (2019). Physicochemical properties of new peanut (*Arachis hypogaea* L.) varieties. *OCL*, 26(19), 1-7. DOI:10.1051/ocl/2019018.

Zhang, Q., Wang, C. Z., Li, B. K., Lin, D. R., & Chen, H. (2018). Research progress in tofu processing: From raw materials to processing conditions. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.*, 58, 1-85. DOI:10.1080/10408398.2016.1263823

Zhang, S., Li, P., Wei, Z., Cheng, Y., Liu, J., Yang, Y., Wang, Y., & Mu, Z. (2022). Cyperus (*Cyperus esculentus* L.): A Review of Its Compositions, Medical Efficacy, Antibacterial Activity and Allelopathic Potentials. *Plants*, 11 (9), 1-12.

Баль-Прилипко, Л., & Савченко, О. (2012). Технологічна доцільність виготовлення м'яких сирних продуктів методом термокислотної коагуляції. *Продовольча індустрія АПК*, 6, 12-15.

Болгова, Н. В., Опімах, Т. С., & Соколенко, В. В. (2023). Використання кіноа у виробництві м'яких сирів. *Вісник Сумського національного аграрного університету. Серія: Механізація та автоматизація виробничих процесів*, 3(53), 15-19.

Болгова, Н. В., Самілик, М. М., Назаренко, Ю. В., & Шмідт, Б. В. (2023). Обґрунтування вибору білкової рослинної сировини для розробки сирного продукту. *Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного університету*, 13(2), 1-9. DOI: 10.31388/2220-8674-2023-2-31.

Борисенко, О. С., & Романенко, О. В. (2020). Сучасні тенденції розвитку ринку молочної продукції, *Інфраструктура ринку*, 42, 64-68).

Гаваза, Є. В. (2015). Світовий ринок молока і молокопродуктів: тенденції та перспективи для України. *Економіка АПК*, 7, 106-113.

Дейниченко, Г. В., Золотухіна, І. В., & Сефіханова, К. А. (2017). Дослідження консистенції молочно-білкових десертів з додаванням рослинної сировини. *Науковий вісник ЛНУВМБТ імені С.З. Гжицького*, 4 (50), 36-40.

Дехтяренко, Н. В., & Дуган, О. М. (2011). Особливості приготування і ферментація соєвого молока представниками роду *Lactobacillus*. *Наукові*

вісті Національного технічного університету України Київський політехнічний інститут, 3, 34-39.

Дубініна, А. А., Ленерт, С. О., & Хоменко, О. О. (2013). Аналіз вітамінного та мінерального складу сортів арахісу, поширених в Україні. *Східно-Європейський журнал передових технологій*, 6/11, 4-7.

Дубініна, А. А., Ленерт, С. О., Хоменко, О. О., & Черевична, Н. І. (2017). Дослідження хімічного складу та оцінка якості сортів арахісу, адаптованих до вирощування в Україні [Електронний ресурс]. Електрон. дані. Х. : ХДУХТ.

Д'яконова, А. К., & Степанова, В. С. (2016). Виробництво рослинного замінича молока. *Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі*, 2(24), 127-136.

Івасюк, І. М., Марчишмин, С. М., & Будняк, Л. І. (2019). Дослідження морфолого-анатомічної будови трави смикавця їстівного (*Cyperus esculentus* L.). *Актуальні питання фармацевтичної і медичної науки та практики*, 12(31), 298-303.

Калмикова, Г. (2013). Ферментація сирної маси у виробництві термокислотних сирів. *Продовольча індустрія АПК*, 3, 16-18.

Козак, О., & Грищенко, О. (2022). Ринок молока і молочних продуктів: Світові тенденції розвитку та перспективи для України. *Вісник Хмельницького національного університету*, 4, 90-96. DOI:10.31891/2307-5740-2022-308-4-14.

Корман, І. І., Лементовська, В. А., & Семенда, О. В. (2022). Маркетингове дослідження ринку молока та молочних продуктів України. *Економіка та держава*, 4, 62-68.

Ларіна, Я., & Файвішенко, Д. (2022). Тенденції та маркетингові інструменти розвитку ринку рослинних аналогів молочної продукції. *Вісник Львівського університету*, 62, 249-260.

Любич, В. В., & Войтовська, В. І. (2022). Жирнокислотний склад насіння різних сортів арахісу та його харчова цінність. *Збірник Уманського НУС*, 100, 34–40.

Любич, В. В., & Войтовська, В. І. (2023). Технологічне оцінювання насіння сортів арахісу. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки*, 34, 40-45.

Любич, В. В., Войтовська, В. І., Третякова, С. О., & Климович, Н. М. (2020). Технологічне оцінювання якості насіння сої залежно від сорту. *Вісник Уманського НУС*, 2, 32-37.

Мерзлов, С. В., Шурчкова, Ю. О., Цебро, А. Д., Гребельник, О. П. Калініна, Г. П., & Роль, Н. В. (2021). Фізико-хімічні та органолептичні показники рослинного молока, яке використовують у готельно-ресторанних комплексах. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С. З. Гжицького. Серія: Харчові технології*, 23(96), 28-32.

Місюк, М. В., & Місько, А. М. (2021). Аналіз сучасного стану молокопереробної продукції. *Науковий вісник*, 9-10, 78-85.

Мотузка, Ю., & Кошельник, А. (2019). Ринок аналогів молочних продуктів рослинного походження: світові тренди. *Товари і ринки*, 3, 38-49.

Назаренко, І. В., & Малиновська, М. Д. (2017). Переваги термокислотного методу коагуляції білків молока при виробництві кисломолочного сиру. *Вісник Сумського національного аграрного університету*, 5/2(32), 85-88.

Назаренко, Ю. В., Шмідт, Б. В., Болгова, Н. В., & Синенко, Т. П. (2023). Розробка сирного продукту із рослинним білком. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки*, 33, 47-54.

Новгородська, Н. В., & Берник, І. М. (2022). Розробка технології сиркових паст з харчовими волокнами. *Продовольчі ресурси*, 10(18), 100-108.

Обозна, М. В., Бідюк, Д. О., Перцевой, М. Ф., Гурський, П. В., Шильман, Л. З., Гарнцарек, Б. Ч., ... Перцевой Ф. В. (2016). *Технологія*

сирного продукту замороженого з додаванням концентрату ядра арахісу. Суми: Університетська книга.

Овсієнко, С. М. (2019). Показники якості м'якого сиру з рослинними наповнювачами. *Аграрна наука та харчові технології: зб. наук. пр. ВНАУ*, 5 (108), 102-114.

Одінцов, С. М., Назаренко, Ю. В., Болгова, Н. В., Синенко, Т. П., & Пуригін, І. О. (2024). Використання рослинної білоквмісної сировини в технології сирів. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, (6), 139-146. DOI: 10.32782/tnv-tech.2023.6.16.

Онегіна, В. М., Антощенкова, В. В., & Кравченко, Ю. М. (2022). Стан світового ринку альтернативних молочних продуктів. *Вісник ХДУ Серія Економічні науки*, 46, 5-10. DOI:10.32999/ksu2307-8030/2022-46-1.

Патика, Н. І. (2019). Конкурентоспроможність та позиціонування України на світовому ринку молочної продукції. *Економіка АПК*, 5, 77-85.

Пешук, Л. В., Горбач, О. Я., & Бахмач, В. О. (2017). Перспективи використання рослинних і тваринних білків в технології м'ясних продуктів. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького*, 19(80), 68-73.

Радзієвська, І. Г., & Мельник, О. П. (2024). Особливості осадження білків сої при виробництві тофу. *Наукові праці НУХТ*, 30(4), 146-153. DOI: 10.24263/2225-29242024-30-4-13.

Рогова, А. Л., Чоні, І. В., & Положишникова, Л. О. (2024). Вплив сучасних кулінарних трендів на розвиток технологій десертів. *Вісник ЛТЕУ. Технічні науки*, 37, 56-63.

Роль, Н. В., Надточій, В. М., Цебро, А. Д., Вовкогон, А. Г., Мерзлова, Г. В., Калініна, Г. П., & Гребельник, О. П. (2021). Конопляна сировина: нові перспективи для харчової промисловості. *Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва»*, 1, 152–158. DOI:10.33245/2310-9289-2021-164-1-152-158.

Савченко, О. А., Грек, О. В., & Красуля, О. О. (2015). *Актуальні питання технологій молочно-білкових концентратів: теорія і практика*. Монографія, Київ: Компринт.

Савчук, Ю. Ю. & Усатюк, С. І. (2017). Способи отримання білкових продуктів з рослинної сировини. *Подільський вісник: сільське господарство, техніка, економіка*, 26, 64-71.

Самілик, М. М. (2017). Удосконалення технології м'якого кисломолочного сиру підвищенням біологічної цінності. *Науковий вісник ЛНУВМБ імені С. З. Гжицького*, 19(80), 33-37.

Скуйбіда, В.В., Онопрійчук, О.О., Грек, О.В., & Тимчук, А.В. (2022). Патент України 152652. Київ, Державне патентне відомство України.

Скульська, І. В., Цісарик, О. Й., & Гуменецький, М. М. (2023). Розроблення технології м'якого сиру з мигдалем. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, 4, 173-180.

Степанчук, С. О., & Єфісько, Ю. Ю. (2018). Стан та перспективи розвитку молочного ринку України. *Економіка та держава*, 5, 99-102.

Суполкіна, А. Р., & Варанкіна, О. О. (2021). Біотехнологія йогурту на рослинній основі з використанням *Bacillus coagulans*. *Хімія, біо- і нанотехнології, екологія та економіка в харчовій та косметичній промисловості: зб. матеріалів IX Міжнар. наук.-практ. конф., ред. кол. Л. Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ [та ін.], Харків: НТУ "ХПІ", 275-276.*

Тивончук, С. В., Тивончук, Я. О., & Павлоцька, Т. П. (2017). Розвиток ринку виробництва молока в Україні в контексті євроінтеграційних процесів. *Економіка АПК*, 4, 25-31.

Шаповаленко, О. І., Янюк, Т. І., Євтушенко, О. О., Ганзенко, В. В., & Козюля, І. В. (2013). Патент України 83990. Київ, Державне патентне відомство України.

Шугай, М. О. (2023). Використання термокислотної коагуляції білків молока у виробництві сиру. *Продовольчі ресурси*, 11(21), 178-186.

Онопрійчук, О. О., & Грек, О. В. (2012). Сиркові пасти із зерновими інгредієнтами. *Продовольча індустрія АПК*, (4), 35–38.

Marynin, A., & Shpak, V. (2023). Viscospringy properties of corn starch suspensions prepared with electrochemically activated water. *Scientific Works of National University of Food Technologies*, 29(2), 189–196. DOI:10.24263/2225-2924-2023-29-2-18.

Alvarez, M. D., Fuentes, R., & Canet, W. (2015). Effects of Pressure, Temperature, Treatment Time, and Storage on Rheological, Textural, and Structural Properties of Heat-Induced Chickpea Gels. *Foods*, 4(2), 80-114. DOI:10.3390/foods4020080.

Михайлик, В. А., Снежкін, Ю. Ф., Корінчевська, Т. В. (2015). Вплив режиму конвективного сушіння на кристалічність порошків з яблук та цукрового буряку. *Промышленная теплотехника*, 37(5), 23—37.

Kim, D. S., Kim, D., Cho, Y., & Sugihara, K. (2006). Quasi-triangulation and interworld data structure in three dimensions. *Computer-Aided Design*, 38(7), 808-819.

Коломієць, Л. В., Воробієнко, П. П., Козаченко, М. Т., Налісний, М. Б., Серебрін, В. Л., Козаченко, Л. О., ... & Лебединська, Л. О. (2009). Метрологія, стандартизація, сертифікація та управління якістю в системах зв'язку. *Одеса: ТОВ «ВМВ»*.

Sukmanov V. A., Sklyarenko E. V. (2012), Issledovanie aktivnosti vodyi v svezhih myagkih syirah, *Naukovi pratsi Odeskoi natsionalnoi akademii kharchovykh tekhnolohii*, 41(1), pp. 18-22.

Грек, О. В., Ющенко, Н. М., Осьмак, Т. Г., Онопрійчук, О. О., Рибак, О. М., Тимчук, А. В., & Красуля, О. О. (2016). Практикум з технології молока та молочних продуктів.

Орлюк, Ю. Т., & Степанищев, М. І. (2015). Дослідження ліполізу в сирі, що визріває за участі двох видів плісняви. *Наукові праці Національного університету харчових технологій*, 21(1), 215-219.

Д'яконова, А. К., & Степанова, В. С. (2017). Напої з горіхоплідної сировини walnut drinks, *Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe* (East European Scientific Journal), 12(28), 2.

Дубініна А., Ленерт С., Хоменко О. (2016). Моделювання вмісту арахісової пасти підвищеної біологічної цінності. *Міжнародний науково-практичний журнал з модитики та ринку*, 21 (1), 193–207.

Korhonen, H., & Pihlanto, A. (2006). Bioactive peptides: Production and functionality. *International Dairy Journal*, 16(9), 945–960. DOI:10.1016/j.idairyj.2005.10.012.

Дейниченко, Г., Гузенко, В., Золотухіна, І., & Перекрест, В. (2022). Впровадження безвідходних технологій переробки вторинної молочної сировини. *Ресторанний і готельний консалтинг. Інновації*, 5(1), 82-96.

Smithers, G. W. (2008). Whey and whey proteins—From ‘gutter-to-gold’. *International Dairy Journal*, 18(7), 695–704. DOI:10.1016/j.idairyj.2008.03.008.

Турчин, І., Гамкало, Г., та Войчишин, А. (2017). Використання молочної сироватки у виробництві десертів. *Науковий вісник ЛНУ ветеринарної медицини та біотехнологій. Серія: Харчові технології*, 19 (80), 165-168.

Юкало, В., та Дацишин, К. (2017). Вибір умов для препаративного електрофорезу білків молочної сироватки в нативних умовах.

Столярчук, П., & Остап'юк, С. (2012). Ідентифікація та аналіз мікробіологічних небезпечних чинників при виробництві молочної продукції. *Стандартизація. Сертифікація. Якість*, (6), 52-58.

Пухляк, А. Г., Скорченко, Т. А., & Вітт, Ф. А. (2003). Дослідження амінокислотного складу та перетравлюваності згущених молочних продуктів з фруктозою.

Бойко, В. С., Самойчук, К. О., Тарасенко, В. Г., Верхоланцева, В. О., Паляничка, Н. О., Михайлов, Є. В., & Червоткіна, О. О. (2021). *Процеси і апарати. Механічні та гідромеханічні процеси: Підручник*. ПрофКнига.

Малежик, І. Ф. (Ред.). (2021). *Процеси і апарати харчових виробництв*. НУХТ.

Ferreira, J. C., Kuskoski, E. M., Bordignon Luiz, M. T., Barrera Arellano, D., & Fett, R. (2012). Emulsifying and foaming properties of peanut (*Arachis hypogaea* L.) flour proteins. *Journal of Food Science and Technology*, 49(4), 467–474.

Lin, C., Zhang, S.-B., & Zhang, S.-Y. (2024). Effects of pH-shifting and ultrasound on the structural and emulsifying properties of peanut globulin fractions. *Food Chemistry: X*, 22, 101390. DOI:10.1016/j.fochx.2024.101390

Adebola, A., Olakunle, M., Adepegba, M., & Oluwole, A. (2023). Production and development of dairy product (cheese) from soy-bean and tiger nut as an alternative to animal milk. *International Journal of Research Publication and Reviews*, 4(7), 523-529.

Arise, A.K., Opaleke, D.O., Salami, K.O., Awolola, G.V., & Akinboro, D.F. (2019). Physico-chemical and sensory properties of a cheese-like product from the blend of soymilk and almond milk. *Agrosearch*, 19(2), 54-63. <http://dx.doi.org/10.4314/agrosh.v19i2.5>.

Balogun, M.A., Oyeyinka, S.A., Kolawole, F.L., Joseph, J.K. & Olajobi, G.E. (2019). Chemical composition and sensory properties of soy-tiger-nut cheese. *Ceylon Journal of Science*, 48(4), 353-358. DOI:10.4038/cjs.v48i4.7676.

Borges, D.M., Ribeiro, S.C., Silva, S.P.M., & Silva, C.C.G. (2024). Dried algae as potential functional ingredient in fresh cheese. *Food Bioengineering*, 3, 65-72. DOI:10.1002/fbe2.12077.

Lamichhane, P., Kelly, A.L., & Sheehan, J.J. (2018). Symposium review: Structure-function relationships in cheese. *Journal of Dairy Science*, 101, 2692–2709. DOI: 10.3168/jds.2017-13386.

Nazarenko, Y.V., Shmidt, B.V., Bolhova, N.V., & Synenko, T.P. (2023). Development of a cheese product with vegetable protein. *Herald of Lviv University of Trade and Economics. Technical Sciences*, 33, 47-54. DOI: 10.36477/2522-1221-2023-33-07.

Osintsev, A.M., Braginsky, V.I., Rynk V.V., & Chebotarev, A.L. (2018). Specifics of milk and plant-based milk-like products coagulation. *Food Processing: Techniques and Technology*, 48(3), 81–89. DOI:10.21603/2074-9414-2018-3-81-89.

Shaghaghian, S., McClements, D.J., Khalesi, M., Garcia-Vaquero, M., & Mirzapour-Kouhdasht, A. (2022). Digestibility and bioavailability of plant-based proteins intended for use in meat analogues: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 129, 646-656. DOI: 10.1016/j.tifs.2022.11.016.

Tsisaryk, O.Y., Slyvka, I.M., & Musiy, L.Y. (2023). Development of technology of soft cheese with chickpea flour. In the *VII International Scientific and Technical Conference "State and Prospects of Food Science and Industry"* (pp. 26-28). PE Palianytsia V. A.:Ternopil).

Zourari, A., Accolas, J.P., & Desmazeaud, M. (1992). Metabolism and biochemical characteristics of yogurt bacteria: A review. *Lait*, 72(1), 1–34.

Leroy, F., & De Vuyst, L. (2004). Lactic acid bacteria as functional starter cultures for the food fermentation industry. *Trends in Food Science & Technology*, 15(2), 67–78.

Barukčić, I., Keškić, M., Lisak Jakopović, K., Karlović, S., & Božanić, R. (2020). Effect of selected starter cultures on production, properties and shelf life of fresh type cheese. *Hrvatski časopis za prehrambenu tehnologiju, biotehnologiju i nutricionizam*, 15(3-4). DOI:10.31895/hcptbn.15.3-4.4

Katsiari, M. C., Kondyli, E., & Voutsinas, L. P. (2009). The quality of Galotyri-type cheese made with different starter cultures. *Food Control*, 20(2), 113–118. DOI:10.1016/j.foodcont.2008.02.011.

Martins, E. M. F., Ramos, A. M., Vanzela, E. S. L., Stringheta, P. C., de Oliveira Pinto, C. L., & Martins, J. M. (2019). Products of vegetable origin: A new alternative for the consumption of probiotic bacteria. *Food Research International*, 120, 291–299.

Soomro, A. H., Masud, T., & Anwaar, K. (2021). Role of lactic acid bacteria (LAB) in food preservation and human health – A review. *Pakistan Journal of Nutrition*, 20(5), 233–241.

Papadimitriou, K., Alegría, Á., Bron, P. A., de Angelis, M., Gobbetti, M., Kleerebezem, M., ... & Tsakalidou, E. (2016). Stress physiology of lactic acid bacteria. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 80(3), 837–890.

Horne, D. S. (2014). Casein micelle structure and stability. In *Milk proteins* (pp. 169-200). Academic Press.

Вогнівенко, Л. П., Шерман, А. А., & Ланевич, Л. І. (2024). Ферментація як ключ до підвищення харчової цінності: дослідження впливу на йогурти та квашені овочі. *Таврійський науковий вісник. Серія: Технічні науки*, (6), 158-166. DOI:10.32782/tnv-tech.2024.6.17.

Silva, Camilla & Santos, Ferlando & Santana, Ligia & SILVA, Mariangela & Conceição, Taiana. (2018). Development and characterization of a soymilk Kefir-based functional beverage. *Food Science and Technology*. 38. 10.1590/1678-457x.10617.

Труфкаті, Л. (2006). *Розробка біотехнології комбінованих молочно-рослинних продуктів* [Автореф.]. ОНАХТ.

Boye, J. I., Aksay, S., Roufik, S., Ribéreau, S., Mondor, M., Farnworth, E., & Rajamohamed, S. H. (2017). Comparison of the functional properties of pea, chickpea and lentil protein concentrates processed by ultrafiltration and isoelectric precipitation. *Food Research International*, 44(9), 3083–3089. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.07.021>.

Saldo, J., та ін. "Changes in water binding in high-pressure treated cheese, measured by TGA (thermogravimetric analysis)". *Innovative Food Science & Emerging Technologies*, т. 3, № 3, верес. 2002, с. 203–07, DOI:10.1016/s1466-8564(02)00047-4.

Гніщевич, В. А., Л. Г. Дейниченко, and О. О. Сімакова. "Якість молочно-білкових концентратів у процесі низькотемпературного

зберігання." *Обладнання та технології харчових виробництв* 42.1 (2021): 47-55.

Sandoval, A. Nunez, M., Muller A., Valle, G., Lourdin, D. (2009). Glass transition temperatures of a ready to eat breakfast cereal formulation and its main components by DSC and DMTA. *Carbohydrated Polymeres*, no. 76, pp. 528–534.

Овсієнко, К. В., Тимчук, А. В., & Грек, О. В. (2021). Визначення форм зв'язку вологи в сироватко-вершковому сирі з харчовими волокнами. *Наукові праці НУХТ*, 27(6), 169–178.

Lammerskiten, A., Mykhailyk, V., Wiktor, A., Toepfl, S., Nowacka, M., Bialik, M., Parniakov, O. (2019). Impact of pulsed electric fields on physical properties of freeze-dried apple tissue. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 57, 102211.

Fox, P. F., & McSweeney, P. L. H. (2013). *Advanced Dairy Chemistry. Volume 1B: Proteins: Applied Aspects* (4th ed.). Springer. DOI:10.1007/978-1-4614-4714-6.

Wang, Yubin, та ін. "Measurement of free water in foods by secondary derivative thermogravimetry". *СyTA - Journal of Food*, т. 16, № 1, січ. 2018, с. 438–43, DOI:10.1080/19476337.2017.1416675.

Lima Nascimento, Luis Gustavo, та ін. "Combination of Milk and Plant Proteins to Develop Novel Food Systems: What Are the Limits?" *Foods*, т. 12, № 12, черв. 2023, с. 2385, h DOI:10.3390/foods12122385.

Маринін , А., В. . Шпак, В. . Пасічний, Є. . Шубіна, і Р. Святненко. «Вплив електрохімічно активованої води на функціонально–технологічні властивості та реологічні показники м'ясних паштетів». *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Серія: Нові рішення у сучасних технологіях, вип. 2(16), Липень 2023, с. 79-85, DOI:10.20998/2413-4295.2023.02.11.

Marynin, A., та V. Shpak. "Viscospringy properties of corn starch suspensions prepared with electrochemically activated water". *Scientific Works of*

National University of Food Technologies, т. 29, № 2, квіт. 2023, с. 189–96, DOI:10.24263/2225-2924-2023-29-2-18.

Saleh A., Mohamed A. A., Alamri M. S., Hussain S., Qasem A. A., Ibraheem M. A. Effect of Different Starches on the Rheological, Sensory and Storage Attributes of Non-fat Set Yogurt. *Foods*, 2020, vol. 9, no. 1, p. 61, DOI:10.3390/foods9010061.

Yu, H. Y., Wang, L., & McCarthy, K. L. (2016). Characterization of yogurts made with milk solids nonfat by rheological behavior and nuclear magnetic resonance spectroscopy. *Journal of food and drug analysis*, 24(4), 804-812. DOI:10.1016/j.jfda.2016.04.002.

Peng, X., & Guo, S. (2015). Texture characteristics of soymilk gels formed by lactic fermentation: A comparison of soymilk prepared by blanching soybeans under different temperatures. *Food Hydrocolloids*, 43, 58-65. DOI:10.1016/j.foodhyd.2014.04.034.

Paska, M., Bal-Prylypko, L., Masliichuk, O., Lychuk, M. (2018). Microstructural analysis of forcemeats of ready-to-cook chopped meat with functional ingredients. *Journal of food science and Technology Ukraine*. Vol. 12, Is. 4. P. 110–116.

Головко М., Серік М., Головко Т., Полупан В. (2014). Мікроструктурні характеристики виробів з фаршу з використанням білково-мінеральної добавки. *Ukrainian Food Journal*, 3, 236-243.

Півоваров, О. А., Миколенко С. Ю., Тищенко Г. П. (2012). Мікроструктурні особливості тіста на основі розчинів, підданих дії контактної нерівноважної плазми. *Харчова наука і технологія*, 1, 67-70.

Felfoul, Imène & Lopez, Christelle. (2024). Milk fat globule fractions recovered by disc stack centrifugal separation of camel milk: Process-induced fat balance, microstructure and lipid composition as a function of size. *LWT*. 215. 117223. DOI:10.1016/j.lwt.2024.117223.

van Vliet, S., Burd, N. A., & van Loon, L. J. C. (2015). The skeletal muscle anabolic response to plant-based protein ingestion. *Journal of Nutrition*, 145(9), 1981–1991. DOI:10.3945/jn.114.204305.

Gorissen, S. H. M., & Witard, O. C. (2018). Characterising the muscle-anabolic potential of dairy, meat and plant-based protein sources in older adults. *Amino Acids*, 50 (2–3), 31–44.

Dietary protein quality evaluation in human nutrition. Report of an FAQ Expert Consultation. (2013). *FAO food and nutrition paper*, 92, 1–66.

Berrazaga, I., Micard, V., Gueugneau, M., & Walrand, S. (2019). The Role of the Anabolic Properties of Plant- versus Animal-Based Protein Sources in Supporting Muscle Mass Maintenance: A Critical Review. *Nutrients*, 11(8), 1825. DOI:10.3390/nu11081825.

Ajomiwe, N., Boland, M., Phongthai, S., Bagiyal, M., Singh, J., & Kaur, L. (2024). Protein Nutrition: Understanding Structure, Digestibility, and Bioavailability for Optimal Health. *Foods*, 13(11), 1771. <https://doi.org/10.3390/foods13111771>

Dimina, L., Rémond, D., Huneau, J. F., & Mariotti, F. (2022). Combining Plant Proteins to Achieve Amino Acid Profiles Adapted to Various Nutritional Objectives-An Exploratory Analysis Using Linear Programming. *Frontiers in nutrition*, 8, 809685. DOI:10.3389/fnut.2021.809685.

Herreman, L., Nommensen, P., Pennings, B., & Laus, M. C. (2020). Comprehensive overview of the quality of plant- And animal-sourced proteins based on the digestible indispensable amino acid score. *Food Science & Nutrition*, 8(10), 5379–5391. DOI:10.1002/fsn3.1809.

Paoletti, A., Elango, R., & Courtney-Martin, G. (2024). Metabolic availability of amino acids in humans. *Frontiers in Nutrition*, 11. DOI:10.3389/fnut.2024.1400676.

Schaafsma, G. (2000). The protein digestibility–corrected amino acid score. *Journal of Nutrition*, 130(7), 1865S–1867S.

Weijzen, M. E. G., van Gassel, R. J. J., Kouw, I. W. K., Trommelen, J., Gorissen, S. H. M., van Kranenburg, J., Goessens, J. P. B., van de Poll, M. C. G., Verdijk, L. B., & van Loon, L. J. C. (2022). Ingestion of Free Amino Acids Compared with an Equivalent Amount of Intact Protein Results in More Rapid Amino Acid Absorption and Greater Postprandial Plasma Amino Acid Availability Without Affecting Muscle Protein Synthesis Rates in Young Adults in a Double-Blind Randomized Trial. *The Journal of nutrition*, 152(1), 59–67. DOI:10.1093/jn/nxab305.

Пшенична, Т., Грек, О., Онопрійчук, О., Пасічний, В., & Чубенко, Л. (2018). Якість полікомпонентних згустків, одержаних термокислотним осадженням білків молока. *Продовольча індустрія АПК*, (1), 24-29.

Skuibida, V., Onopriichuk, O., Tymchuk, A., Soloviov, N., & Grek, O. (2022). Quality Indicators of Multicomponent Dairy-Vegetable Concentrates. *Ukrainian Food Journal*, 11(2), 247-258. DOI: [10.24263/2304-974X-2022-11-2-5](https://doi.org/10.24263/2304-974X-2022-11-2-5). Onopriichuk, O., & Skuibida, V. (2024). Improvement of Fermented Dairy-Plant Concentrate Technology. *Ukrainian Journal of Food Science*, 12(2), 117-130. DOI: [10.24263/2310-1008-2024-12-2-4](https://doi.org/10.24263/2310-1008-2024-12-2-4).

Savchenko, O., Grek, O., Skuibyda, V., Onopriichuk, O., & Pshenychna, T. (2024). Optimisation of parameters for obtaining milk-plant concentrates. *Animal Science and Food Technology*, 16(1), 126-140. DOI: [10.31548/animal.1.2025.126](https://doi.org/10.31548/animal.1.2025.126)

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Проекти технічних умов

УКНД 67.100.10



Ректор Національного університету
харчових технологій, д-р техн. наук, проф.
Олександр ШЕВЧЕНКО
20__ р.

КОНЦЕНТРАТ БІЛКОВИЙ МОЛОЧНО-РОСЛИННИЙ

ТЕХНІЧНІ УМОВИ

ТУ У 10.5-0207 0938-319:2023

(вводяться вперше)

Дата надання чинності з « 07 » червня 2023р.

Чинні до «__» _____ 20__ р.

РОЗРОБЛЕНО

Національним університетом харчових технологій

Ректор НУХТ

проф., д-р. техн. наук

Олександр ШЕВЧЕНКО

« 07 » 06 2023 р.

Професор кафедри технології молока і
молочних продуктів, канд. техн. наук

Олена ГРЕК

« 07 » 06 2023 р.

Доцент кафедри технології молока і
молочних продуктів, канд. техн. наук

Олена ОНОПРІЙЧУК

« 07 » 06 2023 р.

Аспірант кафедри технології молока і
молочних продуктів

Валерія СКУЙБІДА

« 07 » 06 2023 р.

2023

УКНД 67.100.10

ЗАТВЕРДЖУЮ

Ректор Національного університету

харчових технологій, д-р техн. наук, проф.

Олександр ШЕВЧЕНКО

«19»

11

2024 р.

**ВИРОБИ СИРКОВІ****ТЕХНІЧНІ УМОВИ**

ТУ У 10.5-0207 0938-332:2024

(вводяться вперше)

Дата надання чинності з «19» листопада 2024р.

Чинні до «__» __ 20__ р.

РОЗРОБЛЕНО

Національним університетом харчових технологій

Ректор НУХТ

проф., д-р, техн. наук

Олександр ШЕВЧЕНКО

«19»

11

2024 р.

Доцент кафедри технологій молока і

молочних продуктів, канд. техн. наук

Олена ОНОПРИЙЧУК

«19»

11

2024 р.

Аспірант кафедри технологій молока і

молочних продуктів

Валерія СКУЙБІДА

«19»

11

2024 р.

Аспірант кафедри технологій молока і

молочних продуктів

Віктор ГРЕК

«19»

11

2024 р.

Здобувач кафедри технологій молока і

молочних продуктів

Юлія КРАВЦОВА

«19»

11

2024 р.

ДОДАТОК Б

Проекти технологічних інструкцій

УКНД 67.100.10



ОЛЕКСАНДР ШЕВЧЕНКО
Ректор Національного університету
харчових технологій, д-р техн. наук, проф.
«06» 20 20__ р.

ТЕХНОЛОГІЧНА ІНСТРУКЦІЯ по виробництву КОНЦЕНТРАТ БІЛКОВИЙ МОЛОЧНО-РОСЛИННИЙ

до ТУ У 10.5-0207 0938-319:2023

ТІ-10.5-0207 0938-319:2023

Дата надання чинності з «07» червня 2023р.
Чинні до «__» ____ 20__ р.

РОЗРОБЛЕНО

Національним університетом харчових технологій

Ректор НУХТ

проф., д-р. техн. наук

Олександр ШЕВЧЕНКО
«07» 06 2023 р.

Професор кафедри технології молока і
молочних продуктів, канд. техн. наук

Олена ГРЕК
«07» 06 2023 р.

Доцент кафедри технології молока і
молочних продуктів, канд. техн. наук
ОНОПРИЙЧУК

Олена
«07» 06 2023 р.

Аспірант кафедри технології молока і
молочних продуктів
СКУЙБІДА

Валерія
«07» 06 2023 р.

2023

УКНД 67.100.10



ЗАТВЕРДЖУЮ
Ректор Національного університету
харчових технологій, д-р техн. наук, проф.
Олександр ШЕВЧЕНКО
« 19 » 11 2024 р.

ТЕХНОЛОГІЧНА ІНСТРУКЦІЯ по виробництву ВИРОБИ СИРКОВІ

до ТУ У 10.5-0207 0938-332:2024

ТІ-01.01.01-24

Дата надання чинності з « 19 » листопада 2024 р.

Чинні до « » 20 р.

РОЗРОБЛЕНО

Національним університетом харчових технологій

Ректор НУХТ

проф., д-р. техн. наук Олександр ШЕВЧЕНКО

« 19 » 11 2024 р.

Доцент кафедри технології молока і
молочних продуктів, канд. техн. наукОлена ОНОПРІЙЧУК

« 19 » 11 2024 р.

Аспірант кафедри технології молока і
молочних продуктівВалерія СКУЙБИДА

« 19 » 11 2024 р.

Аспірант кафедри технології молока і
молочних продуктівВіктор ГРЕК

« 19 » 11 2024 р.

Здобувач кафедри технології молока і
молочних продуктівЮлія КРАВЦОВА

« 19 » 11 2024 р.

2024

ДОДАТОК В

Акти промислової апробації технології ферментованих молочно-рослинних продуктів

ЗАТВЕРДЖУЮ

Лашинцев В.О.
(підпис)

Лашинцев В.О.
(підпис)

ТОБ «Сандора»
2024 р.

АКТ
промислової апробації технології виробів сиркових, виготовленого згідно з проектом ТУ У10.5-0207 0938-332:2024 у виробничих умовах
ТОБ «Сандора»

Ми, що нижче підписалися, *Лашинцев В.О.*
(підпис, ПІБ)
та представники Національного університету харчових технологій, доцент кафедри технології молока і молочних продуктів Онопрійчук О.О., та аспірант кафедри технології молока і молочних продуктів Скуйбіда В.В., аспірант кафедри технології молока і молочних продуктів Грек В.І., здобувач кафедри технології молока і молочних продуктів Кравцова Ю.В., склали цей акт, про те, що у виробничих умовах ТОВ «Сандора», розташованого в м. Вишневе, Київської області здійснили виробництво дослідних партій виробів сиркових згідно з ТУ У 10.5-0207 0938-332:2024 з метою перевірки технології та відпрацювання режимів зберігання.

Молочно-рослинні суміші для виготовлення основи виробів сиркових, готували із знежиреного молока та сироватково-рослинної суспензії у співвідношенні компонентів 7:3, що мала активну кислотність $6,7 \pm 0,1$ од. рН, з розмірами дисперсної фази на рівні від 10 до 60 мкм. Для отримання останньої ядра бобів арахісу (*Arachis hypogaea*), попередньо замочували та залишали набухати на 8...10 год, промивали 2...3 рази, заливали підсирною молочною сироваткою у співвідношенні до плодів 5:1, після чого отриману суміш подрібнювали до гомогенного стану протягом 5...7 хв в диспергаторі зі швидкістю 1000 с^{-1} . Отриману сироватково-рослинну суміш, фільтрували та вносили у підготоване знежирене молоко.

Молочно-рослинний концентрат отримували із молочно-рослинної суміші методом термокислотного осадження білків. Кислотність та кількість коагулянту підбирали таким чином, щоб досягти рН суміші в межах 5,3...5,8, що відповідає ізоелектричній точці казеїну та основних фракцій рослинних білків. Процес коагуляції здійснювали за температури $92 \pm 2^\circ \text{C}$ шляхом змішування молочно-рослинної суміші з молочною сироваткою, кислотність якої становила $150 \pm 10^\circ \text{T}$ у співвідношенні 1:10 ÷ 5:10 та витримкою протягом 4 ± 1 хв. За даних умов реакція середовища досягає ізоелектричної точки білків.

Суміш лишали у спокої, та піддавали утворений згусток самопресуванню протягом (30 ± 2) хв. Після охолоджували до температури $38 \pm 2^\circ\text{C}$ вносили закваску у кількості 5% та обережно перемішували.

Процес виробництва сиркової пасти з ваніллю знежиреної

Масло та вершки перетворюють у тонку стружку за допомогою подрібнювача або попередньо розрізають на дрібні шматки і витоплюють до сметаноподібного стану.

Вершки перед використанням пастеризують при температурі $(90 \pm 2)^\circ\text{C}$, фільтрують та охолоджують до температури не більше 8°C .

Перед введенням у суміш цукор-пісок просіюють крізь сито з сіткою номер 1,2-1,4.

Після цього їх залишають для остигання при кімнатній температурі.

Харчові волокна перед використанням (шрот гарбузовий) піддають набуханню у сироватці пастеризованій, взятій у співвідношенні до харчових волокон як 3,5:1 при температурі $(42 \pm 2)^\circ\text{C}$ із витримкою 5–10 хв.

Модифікований крохмаль перед використанням розчиняють у охолодженій пастеризованій молочній сироватці при температурі $(20 \pm 2)^\circ\text{C}$ у кількості, що забезпечує отримання розчину концентрацією не більше як 6 %. Отриманий розчин нагрівають до температур клейстеризації $80\ldots 85^\circ\text{C}$ і охолоджують до температури $(42 \pm 2)^\circ\text{C}$.

Желатин промивають у проточній питній воді при температурі $5\text{--}20^\circ\text{C}$, заливають водою і залишають для наступного набухання на 1–1,5 год. Далі готують суміш желатину з вершками таким способом: набряклий желатин заливають вершками (масою до 50 % передбачених рецептурою), нагрівають до $63 \pm 2^\circ\text{C}$, витримують до 30 хв, а потім охолоджують до температури $43 \pm 2^\circ\text{C}$.

Приготування замісу та обробка суміші.

Приготовані до виробництва всі види сировини, що передбачені на кожен вид сиркових паст, зважують та приступають до приготування замісу.

У місильну машину закладають молочно-рослинний концентрат з температурою $(12 \pm 3)^\circ\text{C}$, потім вносять змішаний з ваніллю цукор. Після часткового перемішування до суміші додають підготовлені харчові волокна або модифікований крохмаль у вигляді клейстеру, приготовленого на молочній сироватці, смакові й ароматичні речовини (за потреби згідно рецептури), суміш желатину з вершками (у разі використання модифікованого крохмалю лише вершки) і все це знову перемішують, середня тривалість перемішування складає від 5 до 10 хв.

Після закінчення обробки отриману пасту охолоджують на охолоджувачах або в холодильних камерах до температури не більше $(6 \pm 2)^\circ\text{C}$ та направляють на пакування. У випадках відсутності можливості охолодження сиркову пасту відразу після обробки пакують при температурі $(13 \pm 2)^\circ\text{C}$ і направляють у холодильну камеру для доохолодження до температури не більше 6°C .

Пакування, маркування сиркових паст повинно проводитися відповідно до дійсних технічних умов.

Продукт повинен зберігатися за температури від 0 °С до 6 °С.

Строк придатності продуктів в споживчій тарі за температури від 0 °С до 2 °С становить 4 доби, за температури від 2 °С до 6 °С – 3 доби з моменту закінчення технологічного процесу.

Зберігання на підприємстві-виробнику не більше 18 год з моменту закінчення технологічного процесу.

Зберігання продукту на складах транспортних організацій забороняється.

Процес виробництва глазуrowаних сирків з масовою часткою жиру 18%

Підготовлені до виробництва сировинні, передбачені рецептурою, відважують на вагах і приступають до готування замісу. У місильну машину закладають молочно-рослинний концентрат температурою 10 ± 3 °С, включають мішалку і вносять цукор білий та ванілін. Після часткового перемішування до суміші додають підготовлене вершкове масло, і все це знову перемішують, середня тривалість перемішування складає від 5 до 10 хв.

Глазуrowані сирки з ваніліном мають циліндричну форму з невеликим зрізом по довжині. Отримані сирки з ваніліном по транспортері надходять у глазуrowочну машину, де вони покриваються зверху шоколадною глазурю.

Сирки глазурують з ваніліном за температури глазури, виготовленої на маслі какао, 36 ± 3 °С.

Після глазурування сирки з ваніліном по транспортер і надходять у повітряний охолоджувач, де при температурі від -1 до +1 °С глазура застигає на сирках з ваніліном у потоці. По виходу з охолоджувального тунелю сирки глазуrowані з ваніліном надходять на фасувальний автомат, після чого їх укладають у ящики.

В результаті виробок отримано 10 кг сирків глазуrowаних масовою часткою жиру 18% та 10 кг пасту сиркову з ваніллю знежирену, згідно вимог розробленого проекту технічних умов.

Отримані глазуrowані сирки мали фізико-хімічні показники, які представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. – Фізико-хімічні показники розроблених виробів сиркових

Назва показника	Сиркова паста з ваніллю знежирену	Сирок глазуrowаний з масовою часткою жиру 18%
Титрована кислотність, °Т,	$220 \pm 0,2$	$187 \pm 0,2$
Масова частка жиру в сухій речовині, %	$0,1 \pm 0,2$	$18 \pm 0,2$
Масова частка вологи, %	$75 \pm 0,2$	$65 \pm 0,2$
Температура продукту під час випуску з підприємства, °С, не вище ніж	6	6

Від ГОВ «Сандора»

Від НУХТ

Від НУХТ

Олена ОНОПРІЙЧУК

Валерія СКУЙІДА

Віктор ГРЕК

Юлія КРАВЦОВА



ЗАТВЕРДЖУЮ
Національний університет харчових технологій
Кашинев
 ТОВ «Сандора»
«08» вересня 2023 р.

АКТ

промислової апробації технології концентрату білкового молочного-рослинного, виготовленого згідно з проектом ТУ У 10.5-0207 0938-319:2023 у виробничих умовах ТОВ «Сандора»

Ми, що нижче підписалися, *Національний виробничий молочний завод*
Кашинев В.О. (посада)
 ТОВ «Сандора»
на соєвої продукції (ПІБ)

та представники Національного університету харчових технологій, доцент кафедри технології молока і молочних продуктів Онопрійчук О.О., професор кафедри технології молока і молочних продуктів к.т.н. Грек О.В., доцент кафедри технології молока і молочних продуктів Тимчук А.В. та аспірант кафедри технології молока і молочних продуктів Скуйбіда В.В., склали цей акт, про те, що у виробничих умовах ТОВ «Сандора», розташованого в м. Вишневе, Київської області здійснили виробництво дослідних партій концентрату білкового молочного-рослинного згідно з ТУ У 10.5-0207 0938-319:2023 з метою перевірки технології та відпрацювання режимів зберігання.

Молочною основою обрано знежирене молоко з масовою часткою сухих речовин – 11,5 %, білку – 3,6 %, активною кислотністю – 6,5, яке отримують шляхом сепарування незбираного молока.

Молочно-рослинні суміші готували із знежиреного молока та сироватково-рослинної суспензії у співвідношенні компонентів 7:3, що мала активну кислотність $6,7 \pm 0,1$ од. рН, з розмірами дисперсної фази на рівні від 10 до 60 мкм. Для отримання останньої плоди бульби *Cyperus esculentus* попередньо замочували та залишали набухати на 8...10 год, промивали 2...3 рази, заливали підсирною молочною сироваткою у співвідношенні до плодів 5:1, після чого отриману суміш подрібнювали до гомогенного стану протягом 5...7 хв в диспергаторі зі швидкістю 1000 с^{-1} . Отриману сироватково-рослинну суміш, фільтрували та вносили у підготоване знежирене молоко.

Молочно-рослинний концентрат отримували із молочно-рослинної суміші методом термокислотного осадження білків. Кислотність та кількість коагулянту підбирали таким чином, щоб досягти рН суміші в межах 5,3...5,8, що відповідає ізoeлектричній точці казеїну та основних фракцій рослинних білків. Процес коагуляції здійснювали за температури $92 \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ шляхом змішування молочно-

УХВАЛИЛИ:

1. Органолептичні показники концентрату білкового молочного-рослинного, який розроблений співробітниками кафедри технології молока і молочних продуктів НУХТ та виготовлений на напівпромисловому обладнанні ТОВ «Сандора», відповідають вимогам ТУ У 10.5-0207 0938-319:2023.

2. На основі представленої дегустації, вважати за доцільне рекомендувати технологію концентрату білкового молочного-рослинного до широкого впровадження на підприємствах молокопереробної галузі.

Члени дегустаційної комісії:

Від ТОВ «Сандора»



(ПІБ)

Від НУХТ

О.О. Онопрійчук
(підпис)

О.В. Грек
(підпис)

А.В. Тимчук
(підпис)

В.В. Скуйбіда
(підпис)

ДОДАТОК Г

Акти проведення дегустаційної оцінки ферментованих молочно-рослинних продуктів

ПРОТОКОЛ ДЕГУСТАЦІЇ

Виробів сиркових, виготовленого згідно з ТУ У10.5-0207 0938-332:2024

«Вироби сиркові» на ТОВ «Сандора»

ПРИСУТНІ:

зі сторони ТОВ «Сандора» Погорішня Виробництва Калачов В.О.

(підпис ТОВ)

представники Національного університету харчових технологій, доцент кафедри технології молока і молочних продуктів Онопрійчук О.О., та аспірант кафедри технології молока і молочних продуктів Скуйбіда В.В., аспірант кафедри технології молока і молочних продуктів Грек В.І., здобувач кафедри технології молока і молочних продуктів Кравцова Ю.В.

СЛУХАЛИ: аспірантів кафедри технології молока і молочних продуктів Скуйбіда В.В., Грека В.І. та здобувача кафедри технології молока і молочних продуктів Кравцову Ю.В. про особливості технології виробів сиркових, виготовленого згідно вимог проекту нормативно-технічної документації (ТУ У 10.5-0207 0938-332:2024) в період з 20 жовтня 2024 р. по 24 жовтня 2024 р. на напівпромисловому обладнанні ТОВ «Сандора». Готові зразки виробів сиркових зберігали в холодильній камері за температури $(4 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

На дегустацію було представлено зразки сирків глазуrowаних масовою часткою жиру 18% та пасту сиркову з ваніллю знежирену. Результати органолептичної оцінки представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Органолептичні показники концентрату білкового молочно-рослинного

Назва показника	Сиркова паста з масовою часткою жиру	Сирок глазуrowаний з масовою часткою жиру
Смак і запах	Характерний кисломолочний, в міру солодкий, з присмаком і запахом внесених наповнювачів, добавок.	Характерний кисломолочний, в міру солодкий, з присмаком і запахом внесених наповнювачів, добавок.
Консистенція та зовнішній вигляд	Однорідна, ніжна, пластична, з наявністю часток застосованих наповнювачів, наявність м'якої сирної крупки, легка мучнистість.	Однорідна, ніжна, пластична, з наявністю часток застосованих наповнювачів.
Колір	Білий з кремовим відтінком	Білий з кремовим відтінком

УХВАЛИЛИ:

1. Органолептичні показники виробів сиркових, які розроблені співробітниками кафедри технології молока і молочних продуктів НУХТ та виготовлений на напівпромисловому обладнанні ТОВ «Сандора», відповідають вимогам ТУ У 10.5-0207 0938-332:2024.

2. На основі представленої дегустації, вважати за доцільне рекомендувати технологію виробів сиркових для широкого впровадження на підприємствах молокопереробної галузі.

Члени дегустаційної комісії:

Від ТОВ «Сандора»

Голова



В.О.

Від НУХТ

[Signature]
[Signature]
[Signature]

Олена ОНОПРІЙЧУК

Валерія СКУЙІДА

Віктор ГРЕК

Юлія КРАВЦОВА

ПРОТОКОЛ ДЕГУСТАЦІЇ

концентрату білкового молочного-рослинного, виготовленого згідно з ТУ У 10.5-0207 0938-319:2023 «Концентрат білковий молочно-рослинний» на ТОВ «Сандора»

ПРИСУТНІ:

- зі сторони ТОВ «Сандора» начальник виробництва
(посада)
молочної та вовної продукції Камішев В.О.
(ПІБ)

- зі сторони Національного університету харчових технологій доцент кафедри технології молока і молочних продуктів Онопрійчук О.О., професор кафедри технології молока і молочних продуктів к.т.н. Грек О. В., доцент кафедри технології молока і молочних продуктів Тимчук А.В. та аспірант кафедри технології молока і молочних продуктів Скуйбіда В.В.

СЛУХАЛИ: аспіранта кафедри технології молока і молочних продуктів Скуйбіда В.В. про особливості технології концентрату білкового молочного-рослинного, виготовленого згідно вимог проекту нормативно-технічної документації (ТУ У 10.5-0207 0938-319:2023) в період з 04 вересня 2023 р. по 08 вересня 2023 р. на напівпромисловому обладнанні ТОВ «Сандора». Готові зразки концентрату білкового молочного-рослинного зберігали в холодильній камері за температури $(4\pm 2)^\circ\text{C}$.

На дегустацію було представлено зразки концентрату білкового молочного-рослинного. Результати органолептичної оцінки концентрату білкового молочного-рослинного представлено в табл. 1.

Таблиця 1

Органолептичні показники концентрату білкового молочного-рослинного

Назва показника	Концентрат білковий молочно-рослинний
Смак і запах	Чистий, кисло-молочний, з приємним горіховим присмаком
Консистенція та зовнішній вигляд	Консистенція однорідна, пластична, м'яка.
Колір	Молочний з кремовим відтінком

рослинної суміші з молочною сироваткою, кислотність якої становила 150 ± 10 °Т у співвідношенні 1:10 ÷ 5:10 та витримкою протягом 4 ± 1 хв. За даних умов реакція середовища досягає ізоелектричної точки білків, руйнуються сольові зв'язки його частинок та утворюється концентрат, який далі піддавали самопресуванню протягом (30 ± 2) хв.

Готовий продукт охолоджують до температури $2 \dots 6$ °С та направляють на зберігання за відповідної температури не більше 14 діб.

В результаті виробок отримано 10 кг концентрату білкового молочно-рослинного згідно вимог розробленого проекту технічних умов.

Отриманий концентрат білковий молочно-рослинний мав фізико-хімічні показники, які представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. – Фізико-хімічні показники розробленого концентрату білкового молочно-рослинного

Назва показника	Концентрат білковий молочно-рослинний
Активна кислотність, од. рН	$5,5 \pm 0,2$
Масова частка жиру в сухій речовині, %	$0,5 \pm 1$
Масова частка сухих речовин, %	75 ± 2
Температура продукту під час випуску з підприємства, °С, не вище ніж	6

Від ГОБ «Сандора»

 (ПІБ)
Григорук В.О.

Від НУХТ
 (підпис) *О.О. Онопрійчук*
 (підпис) *О.В. Грек*
 (підпис) *А.В. Тимчук*
 (підпис) *В.В. Скуйбіда*

ДОДАТОК Д

Акти впровадження дисертаційної роботи у навчальний процес закладу вищої освіти

Міністерство освіти і науки України
Національний університет харчових технологій

ЗАТВЕРДЖУЮ:
професор наукової роботи
Сергій ТОКАРЧУК

«04» _____ 2025 р.

АКТ

**впровадження результатів науково-дослідних, дослідно-конструкторських
і дисертаційних робіт у навчальний процес вищих навчальних закладів**

Замовник Національний університет харчових технологій в особі проректора з наукової роботи Токарчука Сергія Володимировича, який діє на підставі наказу № 87 від 20.10.22р.

Дійсним актом підтверджується, що результати: дисертаційної роботи на тему «Розроблення технології ферментованих молочно-рослинних продуктів» виконувались відповідно до держбюджетної тематики науково-дослідної роботи «Удосконалення існуючих та створення нових ресурсоефективних технологій молочних продуктів підвищеної харчової цінності» Державний реєстраційний номер 0120U103103

(найменування теми, № держ. реєстрації)

виконаної на кафедрі технології молока і молочних продуктів

(найменування кафедри)

виконуваної з 01.10.2021 р. по 01.02.2025 р.

(термін виконання)

впроваджені кафедрою технології молока і молочних продуктів

(найменування структурного підрозділу, де здійснювалось впровадження)

- Вид впроваджених результатів:** удосконалено технологія ферментованих молочно-рослинних продуктів.
- Форма впровадження:** лекційні та лабораторні заняття, курсове проєктування, виконання кваліфікаційних робіт здобувачів ОС «Бакалавр» та ОС «Магістр». Отриманні результати використано: при підготовці матеріалів та викладанні матеріалів з дисциплін: «Наукові основи безвідходних технологій відновлювальної сировини», «Світові тенденції розвитку індустрії переробки молока», «Технології молочних продуктів спеціального призначення»; під час курсового проєктування з дисципліни «Інжиніринг харчових виробництв»; виконання кваліфікаційних робіт здобувачів ОС «Бакалавр» та ОС «Магістр».
- Новизна результатів науково-дослідних робіт:**
Встановлено доцільність використання плодів *Arachis hypogaea* у технології сиркових виробів з комбінованим складом сировини отриманих способами термокислотної та кислотнo-сичужної коагуляції білків молока, що забезпечує підвищення харчової та біологічної цінності за рахунок покращення амінокислотного складу та вмісту ненасичених жирних кислот, зокрема олеїнової та лінолевої. Визначено оптимальні параметри отримання

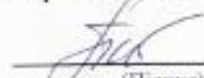
сироватково-рослинної суспензії, які включають замочування плодів *Arachis hypogaea* протягом 480 хвилин, промивання 2–3 рази та диспергування у підсирий молочній сироватці за температури 70°C протягом 5–7 хвилин при швидкості 1000 с⁻¹, що дозволяє отримати суспензію з однорідною структурою та високою стабільністю. Встановлено оптимальні технологічні параметри отримання молочно-рослинних концентратів способом термокислотного осадження білків молочно-рослинної суміші за температури 92±2°C з витримкою протягом 5 хв, що дозволяє осадити білки казеїну, альбумінів та глютелінів та сформувати згусток із максимальним рівнем вологоутримуючої здатності (76%). Доведено, що біологічна цінність термокислотного концентрату становить 67,58%, а коефіцієнт утилізованості незамінних амінокислот – 0,78, що на 7,5% та 8,3% відповідно перевищує показники молочно-білкових концентратів, виготовлених за традиційною технологією.

4. **Перелік курсів і дисциплін, у рамках яких викладені результати НДР:** «Наукові основи безвідходних технологій відновлювальної сировини», «Світові тенденції розвитку індустрії переробки молока», «Технології молочних продуктів спеціального призначення», курсове проєктування з дисципліни «Інжиніринг харчових виробництв», кваліфікаційні роботи здобувачів ОС «Бакалавр» та ОС «Магістр».

5. Соціальний і науково-технічний ефект:

Розроблено технологію ферментованих молочно-рослинних продуктів на основі концентратів отриманих способами термокислотної та кислотнo-сичужної коагуляції білків молока. Аналітично доведено доцільність застосування плодів *Arachis hypogaea* в технології ферментованих молочно-рослинних продуктів на основі концентратів отриманих способами термокислотної та кислотнo-сичужної коагуляції білків. Соціальний ефект полягає у розширенні асортименту сиркових виробів за рахунок використання рослинної сировини, яка володіє структуроутворюючою здатністю та забезпечує підвищення харчової та біологічної цінності. Використання плодів *Arachis hypogaea* для удосконалення технології сиркових виробів з комбінованим складом сировини сприяє збагаченню готового продукту, забезпечує збалансованість хімічного складу.

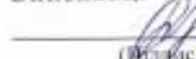
Керівник НДР


(Підпис)

Галина ПОЛІЩУК

«08» 04 2025 р.

Виконавці


(Підпис)

Олена ОНОПРІЙЧУК

«08» 04 2025 р.


(Підпис)

Валерія СКУЙБИДА

«08» 04 2025 р.

ДОДАТОК Е

Розрахунок техніко-економічного ефекту від очікуваного впровадження наукової розробки

Розрахунок загальних витрат і облік виробленої продукції здійснюється за окремими економічними елементами. Зокрема, категорія «матеріальні витрати» включає такі компоненти: основна сировина, додаткові матеріали, енергетичні ресурси (паливо та електроенергія), а також витрати на обслуговування і використання обладнання.

I. Розрахунок витрат на сировину і матеріали

Стаття «Сировина та матеріали» охоплює витрати на придбання сировини і матеріалів, які входять до складу готової продукції або необхідні для її виготовлення. Також сюди включаються ресурси, що використовуються під час виробничих процесів. До таких витрат належать і ті, що пов'язані з використанням природних ресурсів, наприклад, води, яка береться з водогосподарських систем для технологічних цілей. Обчислення проводиться з урахуванням норм споживання основних матеріалів та сировини на одну тону продукції і їхньої вартості.

Таблиця Е.1 – Розрахунок витрат на сировину і матеріали

Рецептурні компоненти	Витрата сировини молочно-білкової суміші в кг на виготовлення 1т концентрату (напівфабрикат)	Витрата сировини молочно-рослинної суміші в кг на виготовлення 1т концентрату (напівфабрикат)	Вартість одиниці сировини, грн/кг	Витрата на 1 т напівфабрикату, грн	
				молочно-білковий концентрат	молочно-рослинний концентрат
Молоко знежирене	3,7839	2,0545	18,5	70002,15	38008,25
Арахіс		0,14675	150	0	22012,5
Підсирна молочна сироватка		0,73375	10	0	7337,5
Всього:	3,7839	2,935	178,5	70002,15	67358,25

*Транспортно-заготівельні витрати, складають 5 – 10 % від вартості сировини

V. Розрахунок відрахувань на соціальні заходи

Внески на соціальні потреби включають обов'язкові нарахування, що здійснюються за чинними нормативами від загального фонду оплати праці. Вони охоплюють пенсійне забезпечення, соціальне та індивідуальне страхування, страхові внески на випадок безробіття, відрахування на інші соціальні заходи. На даний момент їхній розмір становить 22%.

Таблиця Е.5 – Розрахунок відрахувань на соціальні заходи

Заробітна плата на 1т виробів, грн	Відрахування на соціальні заходи, %	Сума нарахувань на заробітну плату, грн
764,08	22	168,09804

VI. Розрахунок витрат на утримання і експлуатацію обладнання

Щоб визначити витрати на утримання та експлуатацію обладнання (СЕО), підприємство формує відповідний кошторис. До нього включають витрати на амортизацію, придбання запасних частин і вузлів, внутрішньозаводське транспортування вантажів та інші пов'язані витрати. Розподіл таких затрат між видами продукції здійснюється пропорційно заробітній платі виробничого персоналу, при цьому коефіцієнт становить 260% від заробітку цих працівників.

Таблиця Е.6 – Розрахунок витрат на утримання і експлуатацію обладнання

Заробітна плата на 1т виробів, грн	Відрахування на утримання та експлуатацію обладнання, %	Сума нарахувань на заробітну плату, грн
764,08	260	1986,6132

VII. Розрахунок загальновиробничих витрат

Загальновиробничі витрати являють собою узагальнену статтю, що охоплює кілька категорій: витрати на обслуговування, опалення та ремонт будівель загального призначення, нарахування амортизації, а також

управлінські витрати, пов'язані з охороною праці й дотриманням техніки безпеки, та інші елементи ОПР. На підприємстві для таких витрат складається спеціальний кошторис. Їхній розподіл між різними видами продукції відбувається з урахуванням коефіцієнта, що базується на рівні заробітної плати виробничого персоналу. Чим більша організація — тим вищий показник витрат і коефіцієнт, який, як правило, знаходиться в межах від 3,56 до 3,85. У розрахунках ці витрати визначаються як 200% від заробітної плати основних робітників.

Таблиця Е.7 – Розрахунок загальновиробничих витрат

Заробітна плата на 1 т виробів, грн	Відрахування на загальновиробничі, %	Сума нарахувань на заробітну плату, грн
764,08	200	1528,16

VIII. Визначення економічної ефективності від впровадження йогурту з крохмалепродуктами

Таблиця Е.8 – Зведена таблиця витрат

Статті калькуляції	Концентрат (напівфабрикат)	
	Молочно-білковий	Молочно-рослинний
Сировина і матеріали	70002,15	67358,25
Паливо і енергія на технологічні цілі	7615,40	7615,40
Заробітна плата основних виробничих робітників	764,08	764,08
Відрахування на соціальні заходи	168,10	168,10
Витрати на утримання і експлуатацію устаткування	1986,61	1986,61
Загально-виробничі витрати	1528,16	1528,16
Виробнича собівартість	82064,51	79420,61
Адміністративні витрати*	2461,94	2382,62
Витрати на збут**	1230,97	1191,31
Всього	85757,41	82994,53
Зниження собівартості, %		3,22

*Адміністративні витрати складають 2-5 % від виробничої собівартості.

Висновок: Проведення розрахунків щодо економічної ефективності технології отримання молочно-рослинного концентрату (напівфабрикату) дають підстави для таких висновків: загальні витрати на виготовлення молочно-рослинного концентрату (напівфабрикату) становлять від 82994,53 грн/т., тоді як на виробництво молочно-білкового концентрату (напівфабрикату) витрати становлять 85757,41 грн/т. Собівартість молочно-рослинного концентрату (напівфабрикату) нижча на 3,22 % від собівартості молочно-білкового концентрату (напівфабрикату).

Розрахунок проведено за консультативно-методичною допомогою кандидата економічних наук, доцента кафедри економіки праці та менеджменту Навчально-наукового інституту економіки і управління НУМХТ Безпалько Олени Вікторівни.

Аспірант кафедри технології
молока та молочних продуктів

 Валерія СКУЙБИДА

Доцент, кандидат економічних
наук

 Олена БЕЗПАЛЬКО



ДОДАТОК Ж

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Публікації у фахових виданнях України та інших держав

1. Skuibida, V., Onopriichuk, O., Tymchuk, A., Soloviov, N., & Grek, O. (2022). Quality Indicators of Multicomponent Dairy-Vegetable Concentrates. *Ukrainian Food Journal*, 11(2), 247-258. (Наукове фахове видання України, категорія А, індексується у наукометричних базах Scopus, InfoBase Index, Chemical Abstracts Service Source Index, Food Science and Technology Abstracts, Emerging Sources Citation Index та ін.). DOI:10.24263/2304-974X-2022-11-2-5.
2. Onopriichuk, O., & Skuibida, V. (2024). Improvement of Fermented Dairy-Plant Concentrate Technology. *Ukrainian Journal of Food Science*, 12(2), 117-130. (Наукове фахове видання України, категорія Б, індексується у наукометричних базах EBSCO, Google Scholar, Index Copernicus, Universal Impact Factor, Directory of Open Access scholarly Resources, CAS Source Index.). DOI: 10.24263/2310-1008-2024-12-2-4. (Особистий внесок Скуйбіда В.В. проведення та організація експериментальних досліджень, обробка отриманих даних, підготовка їх до друку; особистий внесок Онопрійчук О.О. проведення аналізу літератури).
3. Savchenko, O., Grek, O., Skuibida, V., Onopriichuk, O., & Pshenychna, T. (2024). Optimisation of parameters for obtaining milk-plant concentrates. *Animal Science and Food Technology*, 16(1), 126-140. (Наукове фахове видання України, категорія А, індексується у наукометричних базах Scopus, Google Scholar, Index Copernicus, Scientific Indexing Services (SIS), Ulrichsweb, Research Papers in Economics (RePEc), MIAR, BASE, ResearchBib.). DOI:10.31548/animal.1.2025.126.

Тези доповідей та матеріали конференцій

4. Скуйбіда, В.В., & Онопрійчук, О.О. (2021). Розроблення молочних сумішей для ферментованих напоїв. *Наукові здобутки молоді –*

вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 87-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, присвяченої 135-річчю НУХТ, 15–16 квітня 2021 р., Ч. 1, НУХТ, 319.

5. Скуйбіда, В.В., & Онопрійчук, О.О. (2021). Дослідження процесу ферментації молочно-рослинних сумішей. *Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції: програма та тези матеріалів IX-ї Міжнародної науково-технічної конференції, 09-10 листопада 2021 р., м. Київ*, НУХТ, 190-191.

6. Скуйбіда, В.В., & Онопрійчук, О.О. (2022). Дослідження показників якості ферментованих напоїв з модифікованим складом. *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 88-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, Квітень-Травень 2022 р., Ч. 1*, НУХТ, 256.

7. Скуйбіда, В.В., & Онопрійчук, О.О. (2022). Дослідження стану вологи в рослинному концентраті. *Матеріали IV Міжнародної науково-практичної конференції «Європейські Виміри Сталого Розвитку», 20-21 жовтня 2022*, НУХТ, 64.

8. Скуйбіда, В.В., & Онопрійчук, О.О. (2022). Розроблення полікомпонентних молочно-рослинних концентратів. *Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті євроінтеграції: Програма та тези матеріалів XI Міжнародної науково-технічної конференції, 8 листопада 2022 р., м. Київ*, НУХТ, 216-217.

9. Скуйбіда, В.В., & Онопрійчук, О.О. (2023). Актуальність виробництва крафтових молочно-рослинних продуктів. *Промисловість та крафт для HoReCa в туризмі: досвід, проблеми, інновації: Програма та матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, 23-24 травня 2023 р., м. Київ*, НУХТ, 169-170.

10. Скуйбіда, В.В., & Онопрійчук, О.О. (2023). Особливості ферментації напоїв з комбінованими складом сировини. *Сучасні тренди і перспективи в галузі переробки м'яса і молока: Програма та тези*

матеріалів VI Міжнародної науково-технічної конференції, 21 вересня 2023 р., м. Київ, НУХТ, 98.

11. Скуйбіда, В.В., Онопрійчук, О.О., Грек, О.В., & Тимчук, А.В. (2024). Спосіб виробництва сиркового виробу. *Молочна промисловість від виробника до споживача: сучасні тренди та орієнтири: програма та матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 29 травня 2024 р., м. Київ, НУХТ, 37.*

12. Skuibida, Valeriia, & Onopriichuk, Olena. (2024). Relevance of the Development of Dairy and Vegetable Products. *90th International Scientific Conference of Young Scientists and Students "Youth Scientific Achievements to the 21st Century Nutrition Problem Solution", April 11–12, 2024. Book of Abstracts. Part 1, NUFT, Kyiv, 322.*

13. Грек, О.В., Онопрійчук, О.О., Тимчук, А.В., & Скуйбіда, В.В. (2024). Спосіб виробництва сиркового виробу. *Молочна промисловість від виробника до споживача: сучасні тренди та орієнтири: програма та матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 29 травня 2024 р., м. Київ, НУХТ, 37.*

14. Скуйбіда, В.В., Онопрійчук, О.О., Грек, О.В., & Тимчук, А.В. (2024). Спосіб виробництва ферментованого напою з комбінованим складом сировини. *Молочна промисловість від виробника до споживача: сучасні тренди та орієнтири: програма та матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 29 травня 2024 р., м. Київ, НУХТ, 50.*

15. Skuibida, Valeriia, & Onopriichuk, Olena. (2024). Prospects for the Use of Plant Raw Materials in the Technology of Dairy Products. *Молочна промисловість від виробника до споживача: сучасні тренди та орієнтири: програма та матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції, 29 травня 2024 р., м. Київ, НУХТ, 53.*

16. Skuibida, V.V., & Onopriichuk, O.O. (2024). Features of Production of Fermented Milk-Vegetable Concentrate. *Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті євроінтеграції:*

Програма та тези матеріалів XI Міжнародної науково-технічної конференції, 21 листопада 2024 р., м. Київ, НУХТ, 300-301.

17. Skuibida, V., & Onopriichuk, O. (2025). Determination of the optimal ratio of skimmed milk and dairy-vegetable suspension in mixtures for precipitation. *Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті: матеріали 91-ї Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 7-11 квітня 2025 р., Ч. 1, НУХТ, 254.*

Патенти

18. Скуйбіда, В.В., Онопрійчук, О.О., Грек, О.В., & Тимчук, А.В. (2022). Метод виробництва ферментованого напою з комбінованим складом сировини. Патент на корисну модель №152652 (UA). *Державна організація «Українське національне офіс інтелектуальної власності та інновацій».*