

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

МИХАЛЕВИЧ АРТУР ПЕТРОВИЧ

УДК 663.674

ДИСЕРТАЦІЯ

**РОЗРОБЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ МОРОЗИВА АЦИДОФІЛЬНО-
СИРОВАТКОВОГО НИЗЬКОЛАКТОЗНОГО**

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

 А.П. Михалевич

Підпис(и) *А.П. Михалевич* Науковий керівник: Поліщук Галина Євгеніївна
Вчений секретар *Г.А. Шевченко* Доктор технічних наук, професор



Київ – 2025

АНОТАЦІЯ

Михалевич А. П. Розроблення технології морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного. Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття освітньо-наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 181 «Харчові технології» – Національний університет харчових технологій Міністерства освіти і науки України, Київ, 2025.

Дисертаційну працю присвячено розробленню технології морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного на основі рідкого гідролізованого концентрату демінералізованої сироватки з натуральними функціонально-технологічними інгредієнтами.

Досліджено особливості процесу гідролізу лактози у рідких концентратах демінералізованої сироватки. Встановлено, що застосування ферментного препарату GODO-YNL2 для рідких концентратів сироватки не дозволяє досягти ступеня гідролізу лактози вище ніж 75–77% протягом 10 год. Одночасне застосування ферментного GODO-YNL2 та заквашувального «*L. Acidophilus* LYO 50 DCU-S» препаратів протягом 6 год забезпечує конверсію понад 95% лактози для концентратів з масовою часткою сухих речовин 10–30% та понад 90% для 40%-го концентрату. Раціональною тривалістю гідролізу лактози у концентратах демінералізованої сироватки за комбінації препаратів є 6 год для концентратів 10% та 20% та 8 год для концентратів 30% та 40%, що забезпечує гідроліз лактози на рівні 96,8–100%. Реологічні властивості концентратів з масовою часткою сухих речовин 30% та 40% вказують на те, що ці системи володіють високою здатністю до відновлення структури.

Виявлено, що динаміка утворення моносахаридів під час гідролізу є подібною для концентратів 10% та 20%, де у системах незначно переважає галактоза по відношенню до глюкози. Однак, у ферментованих 30% та 40%-х концентратах відбувається переважання вмісту глюкози над галактозою, що вказує на пригнічення активності ацидофільної палички в умовах підвищеного осмотичного тиску.

Оптимізовано ступінь заміни цукру в морозиві на сухі речовини рідкого концентрату демінералізованої сироватки 40%. Зниження потреби у цукрі в морозиві з негідролізованим концентратом сироватки у перерахунку на його загальний вміст може досягати 29%, а з гідролізованим концентратом – до 42%.

У складі зразків морозива сироваткового базового складу, збагачених білковими ізолятами та концентратами, найвищу піноутворюючу здатність виявляє ізолят сироваткових білків. У складі сумішей морозива на основі негідролізованого концентрату сироватки вміст ізоляту сироваткових білків на рівні 3% забезпечує найвищі показники пінозбитості (172,5–225,0%) та піностійкості (47,7–52,4 хв). За його вмісту на рівні 3–5% у складі сумішей на основі гідролізованого концентрату пінозбитість становила 221,5–246,7%, а піностійкість – 59,3–61,9 хв.

За впливом на в'язко-швидкісні характеристики сумішей морозива ізолят сироваткового білка забезпечує отримання харчових систем з вираженою здатністю до самочинного відновлення практично зруйнованої структури. Для морозива з негідролізованим концентратом сироватки раціональним вмістом білкової добавки є 3%, а для морозива з гідролізованим концентратом – 3–5%.

Ізолят сироваткових білків значно впливає на характеристики кольоровості морозива. В процесі зберігання ступінь забарвлення у зелений та жовтий кольори зростає для всіх зразків. Інтенсивність та чистота кольору (C^*) збільшується для морозива з гідролізованим концентратом. Масова частка ізоляту на рівні 3% забезпечує більшу стабільність до збереження чистоти та інтенсивності кольору морозива. Значення відтінку (h°) за позицією у спектрі дає змогу встановити, що модельні зразки морозива знаходяться між жовтим та зеленим кольорами із переважанням у бік першого, що піддається кореляції за показниками a^* та b^* .

Ізолят сироваткових білків суттєво інтенсифікує процес виморожування вільної води у морозиві за температурного діапазону від криоскопічної температури до -10°C , що забезпечує виморожування до 70,5–71,2% води у зразках з негідролізованим концентратом та до 72,9–76,1% у зразках з гідролізованим концентратом.

Поєднання ізоляту сироваткових білків (3%) та гідролізованого концентрату сироватки сприяє утворенню структури з підвищеною водоутримувальною здатністю, що призводить до формування більш однорідної кристалічної структури. Аналіз мікроструктури підтверджує доцільність застосування 3% ізоляту сироваткових білків у складі морозива, що забезпечує рівномірний розподіл бульбашок повітря та сприяє отриманню продукту з високим показником збитості.

Для покращання ступеня дисперсності повітряної фази та стійкості структури морозива з низьким вмістом СЗМЗ додатково вивчено функціонально-технологічні властивості β -глюканів як натуральних заміників стабілізаторів структури. Встановлено суттєвий вплив β -глюканів на реологічні та фізико-хімічні характеристики морозива сироваткового. β -глюкан з вівса (0,25–0,5%) найбільше впливає на зниження криоскопічної температури та підвищення збитості та опору до танення. β -глюкан з дріжджів (0,25–0,5%) призводить до підвищення температури замерзання водної фази продукту, що супроводжується зниженням стійкості до плавлення після одного тижня зберігання порівняно зі стабілізаційною системою Cremodan SI 320. Дріжджовий β -глюкан підвищує точку замерзання та забезпечує дещо нижчі значення збитості та опору таненню, ніж вівсяний β -глюкан.

Дослідження процесу рекристалізації вільної води у зразках морозива показало, що β -глюкани чинять суттєвий вплив на структурні властивості модельних систем. Комерційна система стабілізації Cremodan SI 320 підтримує розмір кристалів льоду на рівні $20,50 \pm 0,77$ мкм протягом одного тижня, тоді як контрольний зразок без стабілізаторів мав діаметр кристалів на рівні $25,01 \pm 1,06$ мкм. β -глюкан з вівса (0,25–0,5%) демонстрував тенденцію до збільшення кристалів льоду при зберіганні морозива до одного місяця з $16,31 \pm 0,15$ мкм до $20,01 \pm 0,72$ мкм. У зразку, що містив 0,25% дріжджового β -глюкану, було зафіксовано утворення найдрібніших кристалів льоду ($8,49 \pm 0,37$ мкм у перший день) і подальше мінімальне зростання до $9,52 \pm 0,16$ мкм через один місяць.

Середній діаметр повітряних бульбашок на перший день зберігання був найменшим у контрольному зразку (6,60 мкм). У зразках з β -глюканом дріжджів та вівса він становив 8,56 мкм та 11,51 мкм відповідно. Через 1 місяць у всіх зразках спостерігалось збільшення розміру повітряних бульбашок, зокрема найбільший діаметр бульбашок був саме у контрольному зразку (14,92 мкм). Це свідчать про те, що β -глюкани стабілізують повітряну фазу більш ефективно протягом тривалого часу, на відміну від зразку з комерційною стабілізаційною системою.

β -глюкани загалом пом'якшують консистенцію морозиво, однак вівсяний β -глюкан значно покращує еластичні властивості морозива, що позитивно впливає на структуру продукту. Застосування вівсяного та дріжджового β -глюкану у складі морозива покращує кремоподібність та липкість, а також дозволяє уникнути застосування стабілізаційних систем, що містять хімічно модифіковані сполуки.

Обґрунтовано рецептурний склад морозива ацидофільно-сироваткового на основі гідролізованого концентрату сироватки з масовою часткою сухих речовини 40% у поєднанні з ізолятом соєвих білків, β -глюканами різного походження та харчосмаковими наповнювачами.

Уточнено тривалість визрівання сумішей морозива та встановлено, що даний етап може бути виключений за рахунок задовільного структурування сумішей після охолодження, що не знижує показників якості готового продукту.

Досліджено біологічну цінність морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного та встановлено, що відбувається її збільшення від 70,47% до 80,29% при виробництві морозива на основі гідролізованого концентрату сироватки. Подальше введення 3% ізоляту сироваткових білків підвищує біологічну цінність до 82,66%.

Представлено хімічний склад, енергетичну цінність та показники якості для розроблених видів морозива. Проведено органолептичну оцінку готового продукту модифікованим дескрипторним методом та досліджено його мікробіологічні показники під час зберігання. Встановлено, що морозиво

ацидофільно-сироваткове низьколактозне за мікробіологічними показниками відповідає законодавчим вимогам протягом гарантованого терміну зберігання до 12-ти місяців.

Соціальний результат від впровадження нової технології морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного полягає в отриманні продукту, що задовольняє вимоги людей з інтолерантністю до лактози, а також у розширенні існуючого асортименту морозива та заморожених десертів за рахунок виробництва продукту підвищеної харчової цінності, зокрема за рахунок підвищеного вмісту білка.

Достовірність отриманих результатів наукової роботи підтверджується застосуванням сучасних методів дослідження та опрацювання отриманих даних, використанням спеціалізованого лабораторного та напівпромислового обладнання. Наукові дані отримано у навчальних та науково-дослідних лабораторіях університетів України та Польщі.

Ключові слова: морозиво, сироватка, протеїни молочної сироватки, суха сироватка демінералізована, білок, ізолят сироваткових білків, заквашувальні культури, ферментація, гідроліз лактози, β -глюкан, структурні властивості, реологічні показники, тиксотропність, органолептичні показники, фізико-хімічні показники.

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Публікації у фахових виданнях України та за кордоном

1. Osmak, T., Mleko, S., Bass, O., Mykhalevych, A., & Kuzmyk, U. (2021). Enzymatic hydrolysis of lactose in concentrates of reconstituted demineralized whey, intended for ice cream production. *Ukrainian Food Journal*, 10(2), 277-288. DOI: 10.24263/2304-974X-2021-10-2-6. (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.).

<https://nuft.edu.ua/doi/doc/ufj/2021/2/6.pdf>

2. Mykhalevych, A., Polishchuk, G., Nassar, K., Osmak, T., & Buniowska-Olejnik, M. (2022). β -Glucan as a Techno-Functional Ingredient in Dairy and Milk-Based Products-A Review. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 27(19), 6313. DOI: 10.3390/molecules27196313. (Закордонне наукове видання, що входить до наукометричних баз Scopus, Web of Science, PubMed, PMC, Embase та ін.).

<https://www.mdpi.com/1420-3049/27/19/6313>

3. Shevchenko, O., Mykhalevych, A., Polishchuk, G., Buniowska-Olejnik, M., Bass, O., & Bandura, U. (2022). Technological functions of hydrolyzed whey concentrate in ice cream. *Ukrainian Food Journal*, 11(4), 498-517. DOI: 10.24263/2304-974X-2022-11-4-3. (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.).

<https://ufj.nuft.edu.ua/indexpre.html?doi=10.24263/2304-974X-2022-11-4-3>

4. Mykhalevych, A., Polishchuk, G., Buniowska-Olejnik, M., Tomczyńska-Mleko, M., & Mleko, S. (2022). Functional and technological properties of protein ingredients in whey ice cream. *Ukrainian Journal of Food Science*, 10(2), 125-135. DOI: 10.24263/2310-1008-2022-10-2-3. (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).

<https://ukrfoodscience.nuft.edu.ua/article?doi=10.24263%2F2310-1008-2022-10-2-3>

5. Михалевич, А. П., Поліщук, Г. Є., Осмак, Т. Г., & Сапіга, В. Я. (2022). Комплексна органолептична оцінка морозива з β -глюканом вівса. *Харчова промисловість*, 31-32, 15-26. DOI: 10.24263/2225-2916-2022-31-32-4. (Наукове фахове видання України, категорія Б, індексується у наукометричних базах Google Scholar, Index Copernicus).

<https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/55e0fd58-95e6-4142-b889-3e7e740aac9a/content>

6. Михалевич, А. П., Поліщук, Г. Є., Осьмак, Т. Г., & Кузьмик, У. Г. (2022). Визначення оптимальних параметрів процесу визрівання сумішей нежирного кисломолочного морозива з в-глюканом вівса. *Наукові праці НУХТ*, 28(5), 63-73. DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-5-9. (Наукове фахове видання України, категорія Б, індексується у наукометричних базах EBSCO, Google Scholar, Index Copernicus).

<https://nuft.edu.ua/doi/doc/swnuft/2022/5/9.pdf>

7. Михалевич, А. П., Бреус Н. М., Поліщук, Г. Є., & Басс, О. О. (2023). Дослідження впливу концентратів демінералізованої сироватки на показники якості морозива. *Наукові Праці НУХТ*, 29(2), 114-123. DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-2-11. (Наукове фахове видання України, категорія Б, індексується у наукометричних базах EBSCO, Google Scholar, Index Copernicus).

<https://nuft.edu.ua/doi/doc/swnuft/2023/2/11.pdf>

8. Михалевич, А. П., Поліщук, Г. Є., Бандура, У. Г., & Осьмак, Т. Г. (2024). Вплив білків на реологічні характеристики сумішей морозива на основі рідких концентратів сироватки. *Наукові праці НУХТ*, 30(1), 123-135. DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-2-11. (Наукове фахове видання України, категорія Б, індексується у наукометричних базах EBSCO, Google Scholar, Index Copernicus).

<https://nuft.edu.ua/doi/doc/swnuft/2024/2/11.pdf>

9. Mykhalevych, A., Buniowska-Olejnik, M., Polishchuk, G., Puchalski, C., Kamińska-Dwórznicza, A., & Berthold-Pluta, A. (2024). The Influence of Whey Protein Isolate on the Quality Indicators of Acidophilic Ice Cream Based on Liquid Concentrates of Demineralized Whey. *Foods*, 13(1), 170. DOI: 10.3390/foods13010170. (Закордонне наукове видання, що входить до наукометричних баз Scopus, Web of Science, OpenAIRE, PubMed, PMC, BibCnrs та ін.).

<https://www.mdpi.com/2304-8158/13/1/170>

10. Tomczyńska-Mleko, M., Mykhalevych, A., Sapiga, V., Polishchuk, G., Terpiłowski, K., Mleko, S., Sołowiej, B.G., & Pérez-Huertas, S. (2024). Influence of Plant-Based Structuring Ingredients on Physicochemical Properties of Whey Ice

Creams. Appl. Sci., 14(6), 2465. DOI: 10.3390/app14062465. (Закордонне наукове видання, що входить до наукометричних баз Scopus, Web of Science, PubMed, PMC, Embase та ін.).

<https://www.mdpi.com/2076-3417/14/6/2465>

11. Mykhalevych, A., Moiseeva, L., Polishchuk, G., Bandura, U., & Buniowska-Olejnik, M. (2024). Comparative analysis of functional and technological properties of β -glucans from oats and yeast in whey ice cream. *Ukrainian Food Journal*, 13(2), 507-519. DOI: 10.24263/2304-974X-2024-13-3-6. (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.).

<https://ufj.nuft.edu.ua/indexpre.html?doi=10.24263/2304-974X-2024-13-3-6>

12. Mykhalevych, A., Moiseyeva, L., Polishchuk, G., & Bandura, U. (2024). Determining patterns of lactose hydrolysis in liquid concentrates of demineralized whey. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(11(132)), 24-32. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.318337. (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.).

<https://journals.uran.ua/eejet/article/view/318337/309831>

Особистий внесок здобувача (1-12): аналіз літературних джерел, проведення експериментальних досліджень, узагальнення отриманих даних, написання статті, підготовка до друку.

Тези доповідей та матеріали конференцій

13. Поліщук, Г. Є., Басс, О. О., & Михалевич А. П. (2020). Перспективи використання демінералізованої ферментованої молочної сироватки у складі морозива. *IX Міжнародна науково-технічна конференція «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції»*, Київ: НУХТ, 141-143.

14. Kuzmyk, U., Bass, O., Mykhalevych, A., & Osmak T. (2021). Investigation of the fermentation process of demineralized whey concentrates for ice cream production. *10th International Specialized Scientific and Practical Conference «Trends in LEAN food production and packaging»*, Kyiv: NUFT, 122-123.

15. Михалевич, А. П., Поліщук, Г. Є., & Басс, О. О. (2021). Встановлення можливого ступеня зниження потреби у цукрі при виробництві морозива сироваткового на основі ферментованих концентратів сироватки. *87-а Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів, присвячена 135-річчю Національного університету харчових технологій «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті»*, Київ: НУХТ, Частина 1, 311.

16. Михалевич, А., & Поліщук, Г. Є. (2021). Дослідження процесу ферментативного гідролізу лактози в технології кисломолочного морозива. *IX-а Міжнародна науково-технічна конференція «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції»*, Київ: НУХТ, 169-171.

17. Mykhalevych, A., Osmak, T., Bass, O., & Sapiga, V. (2021). Studie des wasseraktivität indicators in fermentierten und unfermentierten molke konzentraten. *I-a Всеукраїнська Інтернет-конференція студентів та молодих вчених «Science and innovations in the 21st century»*, Мелітополь: ТДАТУ, Том 1, 25-26.

18. Osmak, T., Mykhalevych, A., Polischuk, G., & Sapiga, V. (2021). Overcoming protein deficiency – a current issue of contemporaneity. *III-а Міжнародна науково-практична конференція «Європейські виміри сталого розвитку»*, Київ: НУХТ, 118-127.

19. Mykhalevych, A., Sapiga, V., Polischuk, G., & Osmak, T. (2021). Investigation of the process of lactose enzymolysis in the production of acidophilic-whey ice cream. *IIIrd International Conference «European Dimensions of Sustainable Development»*, Kyiv: NUFT, 47-48.

20. Михалевич, А. П., & Басс, О. О. (2022). Дослідження відносної солодкості морозива ацидофільно-сироваткового за різного ступеня заміни цукру.

III-а Міжнародна наукова конференція «Проблеми та перспективи реалізації та впровадження міждисциплінарних наукових досягнень», Вінниця: Європейська наукова платформа, 143-144.

21. Polishchuk, G., Bandura, U., Bass, O., Mykhalevych, A. (2023). Influence of demineralized whey concentrates on ice cream sugar content. *9th International Conference «Biotechnologies, present and perspectives», Romani: Stefan cel Mare University of Suceava, 25.*

22. Михалевич, А., Поліщук, Г., Осьмак, Т., & Сапіга, В. Дослідження впливу ізоляту сироваткових білків на мікроструктуру морозива сироваткового. *II-а Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми і практичні підходи виробництва та регулювання використання харчових добавок в країнах Європейського Союзу та в Україні», Київ: НУХТ, 151-153.*

23. Михалевич, А., Поліщук, Г., & Басс, О. (2023). Дослідження можливості заміни цукру в морозиві на гідролізовані концентрати сироватки. *89-а Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», Київ: НУХТ, Частина 1, 315.*

24. Михалевич, А., & Поліщук, Г. (2023). Дослідження піноутворюючих властивостей сумішей морозива сироваткового з білковими добавками. *XI-а Міжнародна науково-технічна конференція «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті євроінтеграції», Київ: НУХТ, 156-157.*

25. Михалевич, А., Поліщук, Г., Бандура, У., & Осьмак, Т. (2024). Вплив β -глюкану вівса на швидкість виморожування вільної води у морозиві сироватковому. *90-а Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», Київ: НУХТ, Частина 1, 309.*

26. Михалевич А., Поліщук Г., Осьмак Т., & Бандура У. (2024). Спосіб виробництва гідролізованого концентрату сироватки. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції у рамках Всеукраїнського форуму «Молочна*

промисловість від виробника до споживача: сучасні тренди та орієнтири», Київ: НУХТ, 43.

27. Поліщук Г., Осьмак Т., Бандура У., Басс О., & Михалевич А. (2024). Виробництво морозива ацидофільного збагаченого. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції у рамках Всеукраїнського форуму «Молочна промисловість від виробника до споживача: сучасні тренди та орієнтири»*, Київ: НУХТ, 47.

28. Мандюк О., Михалевич А., & Поліщук Г. (2024). Використання концентрату гідролізованої сироватки у ферментованих молочних продуктах. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції у рамках Всеукраїнського форуму «Молочна промисловість від виробника до споживача: сучасні тренди та орієнтири»*, Київ: НУХТ, 74.

29. Михалевич, А., & Поліщук Г. (2024). Визначення кріоскопічної температури морозива сироваткового з натуральними стабілізуючими інгредієнтами. *Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні тренди і перспективи в галузі переробки м'яса і молока»*, Київ: НУХТ, 26-27.

30. Михалевич, А. П., Моїсеєва, Л. О., Поліщук, Г. Є., & Бандура, У. Г. (2024). Вивчення процесу гідролізу лактози у концентратах демінералізованої сироватки. *Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті євроінтеграції : Програма та тези матеріалів XIII Міжнародної науково-технічної конференції*, Київ: НУХТ, 278-279.

31. Михалевич, А. П., Моїсеєва, Л. О., Поліщук, Г. Є., & Бандура, У. Г. (2024). Дослідження фізико-хімічних показників гідролізованих концентратів сироватки. *Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті євроінтеграції : Програма та тези матеріалів XIII Міжнародної науково-технічної конференції*, Київ: НУХТ, 282-283.

32. Михалевич, А., & Бандура, У. (2024). Обґрунтування вибору пакування при виробництві морозива сироваткового. *Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції*, ХНТУ, Одеса : Олді+, 104-107.

Патенти

33. Кочубей-Литвиненко, О. В., Поліщук, Г. Є., Осьмак, Т. Г., Михалевич, А. П., Кузьмик, У. Г., & Сапіга, В. Я. (2023). *Спосіб виробництва гідролізованого концентрату сироватки*. Патент на корисну модель № 152382 U UA. Київ: Державна організація “Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій”.

34. Кочубей-Литвиненко, О. В., Поліщук, Г. Є., Осьмак, Т. Г., Михалевич, А. П., Кузьмик, У. Г., & Сапіга, В. Я. (2024). *Спосіб виробництва гідролізованого концентрату сироватки*. Патент на винахід № 128031 UA. Київ: Державна організація “Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій”.

Особистий внесок здобувача (33-34): патентний пошук, участь в розробці способу виробництва концентрату, підготовка патентної заявки.

ABSTRACT

Mykhalevych A.P. Development of technology of acidophilic-whey low-lactose ice cream. Qualification scientific work on the rights of the manuscript.

Thesis for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 181 "Food Technologies" – National University of Food Technologies of the Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2025.

The PhD thesis is devoted to the development of the technology of acidophilic-whey low-lactose ice cream based on liquid hydrolyzed concentrate of demineralized whey with natural functional and technological ingredients.

The study investigated the process of lactose hydrolysis in liquid whey concentrates and established that the enzyme preparation GODO-YNL2 does not allow for higher degrees of lactose hydrolysis than 75–77% within 10 h. Concurrent utilization of the enzyme GODO-YNL2 and the fermentation preparation "*L. acidophilus* LYO 50 DCU-S" for a duration of 6 h has been shown to result in the conversion of more than 95% of lactose for concentrates with a solids content of 10–30%, and over 90% for concentrates with a solids content of 40%. The rational duration of lactose hydrolysis in demineralized whey concentrates with the combination of preparations is 6 h for concentrates of 10% and 20% and 8 h for concentrates of 30% and 40%, which ensures lactose hydrolysis at the level of 96.8–100%. Furthermore, the rheological properties of concentrates with a solids content of 30% and 40% indicate that these systems possess a high degree of structural restoration capability.

The findings revealed that the dynamics of monosaccharide formation during hydrolysis are analogous for 10% and 20% concentrates, with galactose exhibiting a slight predominance over glucose within the systems. However, in the fermented 30% and 40% concentrates, glucose predominates over galactose, indicating the inhibition of acidophilus activity under conditions of elevated osmotic pressure.

The study identified that the replacement level of sugar in ice cream with the solids of liquid whey demineralized concentrate 40% can be optimized. The reduction

in sugar consumption in ice cream with non-hydrolyzed whey concentrate can reach 29% of its total content, and with hydrolyzed whey concentrate, up to 42%.

In the composition of whey-based ice cream samples enriched with protein isolates and concentrates, whey protein isolate demonstrated the highest foaming ability. In ice cream mixtures based on non-hydrolyzed whey concentrate, the content of whey protein isolate at 3% provided the highest indicators of foam overrun (172.5–225.0%) and foam resistance (47.7–52.4 min). Furthermore, when incorporated into mixtures based on hydrolyzed concentrate at concentrations ranging from 3–5%, the whey protein isolate exhibited a foaming overrun of 221.5–246.7% and a foam resistance of 59.3–61.9 min.

In regard to its impact on the viscosity-velocity characteristics of ice cream mixtures, whey protein isolate confers upon food systems a notable capacity for spontaneous restoration of a nearly compromised structure. For ice cream containing non-hydrolyzed whey concentrate, the rational protein additive content is set at 3%, while for ice cream with hydrolyzed whey concentrate, the range extends from 3% to 5%.

Whey protein isolate exerts a substantial influence on the color characteristics of ice cream. During storage, a general increase in green and yellow coloration is observed for all samples. However, for ice cream with hydrolyzed concentrate, there is a notable enhancement in the intensity and purity of the color (C^*). It is evident that the incorporation of 3% of the isolate results in a more pronounced stability in maintaining the purity and color intensity of the ice cream. The hue value (h°) at the position in the spectrum indicates that the model ice cream samples are between yellow and green, with a predominance towards the former, which can be correlated with the a^* and b^* indicators.

Whey protein isolate has been shown to significantly intensify the process of freezing free water in ice cream across a temperature range from cryoscopic temperature to -10°C . This ensures freezing of 70.5–71.2% of water in samples with non-hydrolyzed concentrate and up to 72.9–76.1% in samples with hydrolyzed concentrate.

The combination of whey protein isolate (3%) and hydrolyzed whey concentrate has been demonstrated to promote the formation of a structure with increased water retention capacity, which in turn leads to the formation of a more homogeneous crystal structure. The microstructure analysis confirms the feasibility of using 3% whey protein isolate in ice cream, thereby ensuring uniform distribution of air bubbles and contributing to a product with a high overrun value.

To enhance the dispersion of the air phase and the structural stability of ice cream with a minimal content of MSNF, the functional and technological properties of β -glucans as natural alternatives to structure stabilizers were further investigated. A substantial impact of β -glucans on the rheological and physicochemical characteristics of whey ice cream was observed. The study revealed that β -glucan from oats (0.25–0.5%) exhibited the most pronounced effect on reducing the cryoscopic temperature and enhancing whipping and melting resistance. In contrast, β -glucan from yeast (0.25–0.5%) led to an increase in the freezing point of the aqueous phase of the product, accompanied by a decrease in melting resistance after one week of storage when compared to the stabilization system Cremodan SI 320. It is noteworthy that yeast β -glucan increases the freezing point while providing slightly lower values of whipping and melting resistance compared to oat β -glucan.

The study of the process of free water recrystallization in ice cream samples demonstrated that β -glucans have a significant effect on the structural properties of the model systems. The commercial stabilization system Cremodan SI 320 maintained the size of ice crystals at $20.50 \pm 0.77 \mu\text{m}$ for one week, while the control sample without stabilizers had a crystal diameter of $25.01 \pm 1.06 \mu\text{m}$. The addition of β -glucan from oats at concentrations ranging from 0.25% to 0.5% during the storage of ice cream for up to one month resulted in an increase in ice crystal size, from an initial average of $16.31 \pm 0.15 \mu\text{m}$ to $20.01 \pm 0.72 \mu\text{m}$. In the sample containing 0.25% yeast β -glucan, the formation of the smallest ice crystals was recorded ($8.49 \pm 0.37 \mu\text{m}$ on the first day) and further minimal growth to $9.52 \pm 0.16 \mu\text{m}$ after one month. The average diameter of air bubbles on the first day of storage was the smallest in the control sample ($6.60 \mu\text{m}$). In the samples containing yeast and oat β -glucan, the average diameter was recorded at

8.56 μm and 11.51 μm , respectively. After one month, a substantial increase in the size of air bubbles was observed in all samples, with the largest bubble diameter being recorded in the control sample (14.92 μm). This finding suggests that β -glucans exhibit superior stability in the air phase over a prolonged duration, in contrast to the sample containing a commercial stabilization system.

The addition of β -glucans has been demonstrated to soften the consistency of ice cream. However, oat β -glucan has been shown to enhance the elastic properties of ice cream, which has a positive effect on the product structure. The incorporation of oat and yeast β -glucan in ice cream has been shown to improve creaminess and stickiness, while eliminating the need for stabilizing systems containing chemically modified compounds.

The formulation composition of acidophilus whey ice cream, based on hydrolyzed whey concentrate with a mass fraction of solids of 40%, in combination with soy protein isolate, β -glucans of various origins, and flavoring fillers, was substantiated. The duration of maturation of ice cream mixtures was clarified, and it was found that this stage can be eliminated due to satisfactory structuring of the mixtures after cooling, which does not reduce the quality of the finished product.

The investigation of the biological value of acidophilic-whey low-lactose ice cream revealed an increase from 70.47% to 80.29% in the production of ice cream based on hydrolyzed whey concentrate. The incorporation of 3% whey protein isolate further augmented the biological value to 82.66%.

The chemical composition, energy value, and quality indicators for the developed ice cream types are presented in this study. The sensory evaluation of the finished product by the modified descriptor method was carried out, and its microbiological parameters during storage were investigated. The results indicate that the acidophilic-whey low-lactose ice cream meets the microbiological requirements of the legislation during the guaranteed shelf life of up to 12 months.

The social implications of the introduction of this new technology are twofold: first, the production of a product that meets the requirements of individuals with lactose intolerance, and second, the expansion of the existing range of ice cream and frozen

desserts by producing a product with increased nutritional value, particularly due to its high protein content.

The reliability of the research findings is substantiated by employing contemporary research methodologies and data processing techniques, along with the utilization of specialized laboratory and semi-industrial equipment. The scientific data were collected in educational and research laboratories of universities in Ukraine and Poland.

Key words: ice cream, whey, milk whey proteins, demineralized whey powder, protein, whey protein isolate, starter cultures, fermentation, lactose hydrolysis, β -glucan, structural properties, rheological parameters, thixotropy, organoleptic, physicochemical and microbiological parameters.

List of publications of the applicant on the topic of the PhD thesis

Publications in professional journals of Ukraine and abroad

1. Osmak, T., Mleko, S., Bass, O., Mykhalevych, A., & Kuzmyk, U. (2021). Enzymatic hydrolysis of lactose in concentrates of reconstituted demineralized whey intended for ice cream production. *Ukrainian Food Journal*, 10(2), 277-288. DOI: 10.24263/2304-974X-2021-10-2-6. (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.)
<https://nuft.edu.ua/doi/doc/ufj/2021/2/6.pdf>

2. Mykhalevych, A., Polishchuk, G., Nassar, K., Osmak, T., & Buniowska-Olejnik, M. (2022). β -Glucan as a Techno-Functional Ingredient in Dairy and Milk-Based Products-A Review. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 27(19), 6313. DOI: 10.3390/molecules27196313. (Foreign scientific publication included in Scopus, Web of Science, PubMed, PMC, Embase, etc.)
<https://www.mdpi.com/1420-3049/27/19/6313>

3. Shevchenko, O., Mykhalevych, A., Polishchuk, G., Buniowska-Olejnik, M., Bass, O., & Bandura, U. (2022). Technological functions of hydrolyzed whey concentrate in ice cream. *Ukrainian Food Journal*, 11(4), 498-517. DOI:

10.24263/2304-974X-2022-11-4-3. (*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.*)

<https://ufj.nuft.edu.ua/indexpre.html?doi=10.24263/2304-974X-2022-11-4-3>

4. Mykhalevych, A., Polishchuk, G., Buniowska-Olejnik, M., Tomczyńska-Mleko, M., & Mleko, S. (2022). Functional and technological properties of protein ingredients in whey ice cream. *Ukrainian Journal of Food Science*, 10(2), 125-135. DOI: 10.24263/2310-1008-2022-10-2-3. (*Scientific professional publication of Ukraine, category B, indexed in the scientometric databases EBSCO, Google Scholar, Index Copernicus, Universal Impact Factor, Directory of Open Access scholarly Resources, CAS Source Index*).

<https://ukrfoodscience.nuft.edu.ua/article?doi=10.24263%2F2310-1008-2022-10-2-3>

5. Mykhalevych, A. P., Polishchuk, G. E., Osmak, T. G., & Sapiga, V. Y. (2022). Comprehensive organoleptic evaluation of ice cream with oat β -glucan. *Food Industry*, 31-32, 15-26. DOI: 10.24263/2225-2916-2022-31-32-4. (*Scientific professional publication of Ukraine, category B, indexed in the scientometric databases Google Scholar, Index Copernicus*).

<https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/55e0fd58-95e6-4142-b889-3e7e740aac9a/content>

6. Mykhalevych, A. P., Polishchuk, G. E., Osmak, T. G., & Kuzmyk, U. G. (2022). Determination of the optimal parameters of the ripening process of mixtures of low-fat fermented milk ice cream with oat β -glucan. *Scientific works of NUFT*, 28(5), 63-73. DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-5-9. (*Scientific professional publication of Ukraine, category B, indexed in the scientometric databases EBSCO, Google Scholar, Index Copernicus*).

<https://nuft.edu.ua/doi/doc/swnuft/2022/5/9.pdf>

7. Mykhalevych, A. P., Breus, N. M., Polishchuk, G. E., & Bass, O. O. (2023). Investigation of the effect of demineralized whey concentrates on ice cream quality indicators. *Scientific works of NUFT*, 29(2), 114-123. DOI: 10.24263/2225-2924-

2023-29-2-11. (*Scientific professional publication of Ukraine, category B, indexed in the scientometric databases EBSCO, Google Scholar, Index Copernicus*).

<https://nuft.edu.ua/doi/doc/swnuft/2023/2/11.pdf>

8. Mykhalevych, A. P., Polishchuk, G. E., Bandura, U. G., & Osmak, T. G. (2024). Influence of proteins on the rheological characteristics of ice cream mixtures based on liquid whey concentrates. *Scientific works of NUFT*, 30(1), 123-135. DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-2-11. (*Scientific professional publication of Ukraine, category B, indexed in the scientometric databases EBSCO, Google Scholar, Index Copernicus*).

<https://nuft.edu.ua/doi/doc/swnuft/2024/2/11.pdf>

9. Mykhalevych, A., Buniowska-Olejniak, M., Polishchuk, G., Puchalski, C., Kamińska-Dwórzniak, A., & Berthold-Pluta, A. (2024). The Influence of Whey Protein Isolate on the Quality Indicators of Acidophilic Ice Cream Based on Liquid Concentrates of Demineralized Whey. *Foods*, 13(1), 170. DOI: 10.3390/foods13010170. (*Foreign scientific publication included in the scientometric databases Scopus, Web of Science, OpenAIRE, PubMed, PMC, BibCnrs, etc.*)

<https://www.mdpi.com/2304-8158/13/1/170>

10. Tomczyńska-Mleko, M., Mykhalevych, A., Sapiga, V., Polishchuk, G., Terpiłowski, K., Mleko, S., Sołowiej, B.G., & Pérez-Huertas, S. (2024). Influence of Plant-Based Structuring Ingredients on the Physicochemical Properties of Whey Ice Creams. *Appl. Sci.*, 14(6), 2465. DOI: 10.3390/app14062465. (*Foreign scientific publication included in the scientometric databases Scopus, Web of Science, PubMed, PMC, Embase, etc.*)

<https://www.mdpi.com/2076-3417/14/6/2465>

11. Mykhalevych, A., Moiseeva, L., Polishchuk, G., Bandura, U., & Buniowska-Olejniak, M. (2024). Comparative analysis of functional and technological properties of β -glucans from oats and yeast in whey ice cream. *Ukrainian Food Journal*, 13(2), 507-519. DOI: 10.24263/2304-974X-2024-13-3-6. (*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.)

<https://ufj.nuft.edu.ua/indexpre.html?doi=10.24263/2304-974X-2024-13-3-6>

12. Mykhalevych, A., Moiseyeva, L., Polishchuk, G., & Bandura, U. (2024). Determining patterns of lactose hydrolysis in liquid concentrates of demineralized whey. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(11(132)), 24-32. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.318337. *(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.)*

<https://journals.uran.ua/eejet/article/view/318337/309831>

Personal contribution of the applicant (1-12): analysis of literature sources, experimental studies, generalization of the data, writing the article, preparation for publication.

Abstracts and conference materials

13. Polishchuk, G. E., Bass, O. O., & Mykhalevych, A. P. (2020). Prospects for the use of demineralized fermented whey in ice cream. *IX International Scientific and Technical Conference "Scientific Problems of Food Technologies and Industrial Biotechnology in the Context of European Integration"*, Kyiv: NUFT, 141-143.

14. Kuzmyk, U., Bass, O., Mykhalevych, A., & Osmak T. (2021). Investigation of the fermentation process of demineralized whey concentrates for ice cream production. *10th International Specialized Scientific and Practical Conference "Trends in LEAN food production and packaging"*, Kyiv: NUFT, 122-123.

15. Mykhalevych, A. P., Polishchuk, G. E., & Bass, O. O. (2021). Establishing the possible degree of reduction in sugar consumption in the production of whey ice cream based on fermented whey concentrates. *87th International Scientific Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students dedicated to the 135th anniversary of the National University of Food Technologies "Scientific achievements of youth - solving the problems of human nutrition in the XXI century"*, Kyiv: NUFT, Part 1, 311.

16. Mykhalevych, A., & Polishchuk, G. E. (2021). Study of the process of enzymatic hydrolysis of lactose in the technology of fermented milk ice cream. *IXth*

International Scientific and Technical Conference “Scientific Problems of Food Technology and Industrial Biotechnology in the Context of European Integration”, Kyiv: NUFT, 169-171.

17. Mykhalevych, A., Osmak, T., Bass, O., & Sapiga, V. (2021). Studie des wasseraktivität indicators in fermentierten und unfermentierten molke konzentraten. *First All-Ukrainian Internet conference of students and young scientists “Science and innovations in the 21st century”*, Melitopol: TDATU, Vol. 1, 25-26.

18. Osmak, T., Mykhalevych, A., Polischuk, G., & Sapiga, V. (2021). Overcoming protein deficiency - a current issue of contemporaneity. *III^d International Scientific and Practical Conference “European Dimensions of Sustainable Development”*, Kyiv: NUPh, 118-127.

19. Mykhalevych, A., Sapiga, V., Polischuk, G., & Osmak, T. (2021). Investigation of the process of lactose enzymolysis in the production of acidophilic-whey ice cream. *III^d International Conference “European Dimensions of Sustainable Development”*, Kyiv: NUFT, 47-48.

20. Mykhalevych, A. P., & Bass, O. O. (2022). Investigation of the relative sweetness of acidophilus whey ice cream at different degrees of sugar replacement. *III^d International scientific conference “Problems and prospects of realization and implementation of interdisciplinary scientific achievements”*, Vinnytsia: European Scientific Platform, 143-144.

21. Polishchuk, G., Bandura, U., Bass, O., Mykhalevych, A. (2023). Influence of demineralized whey concentrates on ice cream sugar content. *9th International Conference “Biotechnologies, present and perspectives”*, Romani: Stefan cel Mare University of Suceava, 25.

22. Mykhalevych, A., Polishchuk, G., Osmak, T., & Sapiga, V. Investigation of the effect of whey protein isolate on the microstructure of whey ice cream. *IInd International Scientific and Practical Conference “Problems and Practical Approaches to the Production and Regulation of the Use of Food Additives in the European Union and Ukraine”*, Kyiv: NUFT, 151-153.

23. Mykhalevych, A., Polishchuk, G., & Bass, O. (2023). Investigation of the possibility of replacing sugar in ice cream with hydrolyzed whey concentrates. *89th International Scientific Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students "Scientific Achievements of Youth - Solving the Problems of Human Nutrition in the XXI Century"*, Kyiv: NUFT, Part 1, 315.

24. Mykhalevych, A., & Polishchuk, G. (2023). Investigation of foaming properties of mixtures of whey ice cream with protein additives. *XIth International Scientific and Technical Conference "Scientific Problems of Food Technology and Industrial Biotechnology in the Context of European Integration"*, Kyiv: NUFT, 156-157.

25. Mykhalevych, A., Polishchuk, G., Bandura, U., & Osmak, T. (2024). Influence of oat β -glucan on the freezing rate of free water in whey ice cream. *90th International Scientific Conference of Young Scientists, Postgraduates and Students "Scientific Achievements of Youth - Solving the Problems of Human Nutrition in the XXI Century"*, Kyiv: NUFT, Part 1, 309.

26. Mykhalevych, A., Polishchuk, G., Osmak, T., & Bandura, U. (2024). Method of production of hydrolyzed whey concentrate. *Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference within the framework of the All-Ukrainian Forum "Dairy Industry from Producer to Consumer: Modern Trends and Guidelines"*, Kyiv: NUFT, 43.

27. Polishchuk, G., Osmak, T., Bandura, U., Bass, O., & Mykhalevych, A. (2024). Production of acidophilus enriched ice cream. *Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference within the framework of the All-Ukrainian Forum "Dairy Industry from Producer to Consumer: Modern Trends and Guidelines"*, Kyiv: NUFT, 47.

28. Mandiuk, O., Mykhalevych, A., & Polishchuk, G. (2024). The use of hydrolyzed whey concentrate in fermented dairy products. *Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference within the framework of the All-Ukrainian Forum "Dairy Industry from Producer to Consumer: Modern Trends and Guidelines"*, Kyiv: NUFT, 74.

29. Mykhalevych, A., & Polishchuk, G. (2024). Determination of the cryoscopic temperature of whey ice cream with natural stabilizing ingredients. *Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference “Modern trends and prospects in the field of meat and milk processing”*, Kyiv: NUFT, 26-27.

30. Mykhalevych, A. P., Moiseeva, L. O., Polishchuk, G. E., & Bandura, U. G. (2024). Study of the process of lactose hydrolysis in demineralized whey concentrates. *Scientific problems of food technology and industrial biotechnology in the context of European integration: Program and abstracts of the XIII International Scientific and Technical Conference*, Kyiv: NUFT, 278-279.

31. Mykhalevych, A. P., Moiseeva, L. O., Polishchuk, G. E., & Bandura, U. G. (2024). Investigation of physicochemical parameters of hydrolyzed whey concentrates. *Scientific problems of food technology and industrial biotechnology in the context of European integration: Program and abstracts of the XIII International Scientific and Technical Conference*, Kyiv: NUFT, 282-283.

32. Mykhalevych, A., & Bandura, U. (2024). Substantiation of the choice of packaging in the production of whey ice cream. *Materials of the II International Scientific and Practical Conference*, KhNTU, Odesa: Aldi+, 104-107.

Patents

33. Kochubey-Lytvynenko, O. V., Polishchuk, G. E., Osmak, T. G., Mykhalevych, A. P., Kuzmik, U. G., & Sapiga, V. Y. (2023). Method for the production of hydrolyzed whey concentrate. Patent for utility model No. 152382 U UA. Kyiv: State Organization “Ukrainian National Office of Intellectual Property and Innovations”.

34. Kochubey-Lytvynenko, O. V., Polishchuk, G. E., Osmak, T. G., Mykhalevych, A. P., Kuzmik, U. G., & Sapiga, V. Y. (2024). Method for the production of hydrolyzed whey concentrate. Patent for invention No. 128031 UA. Kyiv: State Organization “Ukrainian National Office of Intellectual Property and Innovations”.

Personal contribution of the applicant (33-34): patent search, participation in the development of the method of production of the concentrate, preparation of the patent application.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	29
РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНІ ІННОВАЦІЇ У ВИРОБНИЦТВІ МОРОЗИВА СИРОВАТКОВОГО.....	37
1.1. Аналіз світової практики у виробництві морозива сироваткового.....	37
1.2. Ферментування сумішей як спосіб підвищення якості морозива на молочній основі.....	43
1.3. Рідкі білково-вуглеводні концентрати як основа для виробництва морозива сироваткового.....	50
1.4. Доцільність гідролізу лактози у рідких концентратах сироватки та морозиві.....	54
1.5. Особливості збагачення морозива білком.....	61
1.6. β -глюкани як альтернатива стабілізаційним системам у складі морозива....	67
Висновки до розділу 1.....	78
РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ	89
2.1. Організація проведення експерименту.....	77
2.2. Матеріальне забезпечення.....	79
2.2.1. Сировина і матеріали.....	79
2.2.2. Лабораторне та напівпромислове обладнання.....	80
2.2.3. Підготовка контрольних та дослідних зразків.....	81
2.3. Методи дослідження.....	82
2.3.1. Загальновідомі методи аналізування.....	82
2.4.2. Спеціальні та модифіковані методи аналізування.....	82
2.4. Алгоритм математичної та статистичної обробки отриманих результатів...	91
Висновки до розділу 2.....	91
РОЗДІЛ 3. НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ ФЕРМЕНТАЦІЇ ЛАКТОЗИ В РІДКИХ КОНЦЕНТРАТАХ ДЕМІНЕРАЛІЗОВАНОЇ СИРОВАТКИ.....	92

3.1. Вивчення активності препаратів для ферментації лактози за змінних умов гідролізу у відновлених концентратах сироватки.....	92
3.2. Результати дослідження вуглеводного складу у рідких гідролізованих концентратах сироватки.....	97
3.3. Фізико-хімічні показники рідких гідролізованих концентратів сироватки...	88
Висновки до розділу 3.....	103

РОЗДІЛ 4. НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СКЛАДУ АЦИДОФІЛЬНО-СИРОВАТКОВОГО МОРОЗИВА НИЗЬКОЛАКТОЗНОГО.....104

4.1. Розробка базових рецептур морозива на основі рідких концентратів демінералізованої сироватки.....	104
4.1.1. Розрахунок можливості часткової заміни цукру в морозиві рідкими концентратами демінералізованої сироватки.....	104
4.1.2. Якісні показники морозива на основі концентратів демінералізованої сироватки.....	113
4.2. Вивчення можливості збагачення морозива білковими інгредієнтами.....	119
4.2.1. Реологічні характеристики сумішей морозива.....	119
4.2.2. Вплив ізоляту сироваткових білків на фізико-хімічні та мікробіологічні показники сумішей та морозива.....	134
Висновки до розділу 4.....	152

РОЗДІЛ 5. ВИВЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАМІНИ СТАБІЛІЗАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ В МОРОЗИВІ АЦИДОФІЛЬНО-СИРОВАТКОВОМУ НА β -ГЛЮКАНИ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ.....153

5.1. Вивчення в'язкості та термофізичних характеристик морозива.....	153
5.2. Дослідження процесу рекристалізації у морозиві під час зберігання.....	156
5.3. Вплив β -глюканів на текстуру та показники якості морозива.....	168
5.4. Розробка оригінальних рецептур морозива ацидофільно-сироваткового.....	175

Висновки до розділу 5.....	177
РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ МОРОЗИВА АЦИДОФІЛЬНО-СИРОВАТКОВОГО НИЗЬКОЛАКТОЗНОГО.....	178
6.1. Уточнення параметрів окремих технологічних операцій.....	178
6.2. Розробка технологічної блок-діаграми та апаратурно-технологічної схеми виробництва морозива сироваткового.....	181
6.3. Дослідження якісних показників розроблених складів морозива ацидофільно-сироваткового.....	186
6.3.1. Фізико-хімічні показники.....	186
6.3.2. Біологічна цінність.....	189
6.3.3. Органолептична оцінка та мікробіологічні показники.....	192
6.4. Промислова апробація наукової розробки.....	198
6.5. Очікуваний соціально-економічний ефект від впровадження наукової розробки.....	198
Висновки до розділу 6.....	204
ВИСНОВКИ.....	206
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	208
ДОДАТКИ.....	243
Додаток А. Нормативна документація.....	243
Додаток Б. Патенти на корисну модель та винахід.....	247
Додаток В. Акти впровадження та виробничої апробації наукової розробки, протоколи органолептичної оцінки.....	249
Додаток Г. Розрахунок очікуваної економічної ефективності від впровадження наукової розробки.....	259
Додаток Д. Перелік опублікованих праць за темою дисертації.....	267

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

БГВ – β -глюкан вівса

БГД – β -глюкан дріжджів

БЦ – біологічна цінність

ГСБ – гідролізат сироваткових білків

ЗП – заквашувальний препарат

ІСБ – ізолят сироваткових білків

ІСОБ – ізолят соєвих білків

КМБ – концентрат молочного білка

КМК – концентрат міцелярного казеїну

КРАС – коефіцієнт різниці амінокислотного скору

КСБ – концентрат сироваткових білків

НГК – негідролізований концентрат сироватки

СГЛ – ступінь гідролізу лактози

СС – стабілізаційна система

ФП – ферментний препарат

$t_{кр}$ – криоскопічна температура

ω – виморожена вода

ВСТУП

Сучасні тенденції розвитку харчової промисловості зумовлені дедалі більшою орієнтацією на здоровий спосіб життя та потребами споживачів у продуктах функціональної спрямованості. На цьому тлі особливу популярність набувають молочні продукти, збагачені пробіотиками та призначені для споживачів з особливими дієтичними потребами, зокрема з непереносимістю лактози.

Морозиво, як популярний молочний десерт, має значний потенціал для впровадження таких інновацій, поєднуючи смакові якості з корисними властивостями. Розробка ацидофільно-сироваткового морозива з низьким вмістом лактози є перспективним напрямом досліджень, який дозволяє створювати продукт, придатний для широкої категорії, включно зі споживачами з інтолерантністю до лактози. Виробництво такого морозива передбачає використання ацидофільних бактерій, що відомі своїми пробіотичними властивостями. *Lactobacillus acidophilus* сприяють нормалізації мікрофлори кишківника, зміцненню імунної системи, зниженню ризику запальних процесів у кишково-шлунковому тракті та покращенню загального самопочуття. У поєднанні з сироватковими білками, які багаті на незамінні амінокислоти, та зменшеним вмістом лактози, такий продукт може не лише задовольняти потреби споживачів у корисному десерті, але й позитивно впливати на їхнє здоров'я.

Питаннями зниження вмісту лактози у молочних продуктах та виробництва морозива з використанням вторинних молочних ресурсів присвячені праці багатьох українських та зарубіжних вчених – В. А. Гніщевич, Л. О. Моїсєєвої, Г. Є. Поліщук, І. О. Романчук, А. А. Трубнікової, Т. Є. Шарахматової, Т. І. Юдіної, E. L. D. S. Barros, H. D. Goff, R. W. Hartel, M. Henriques, A. Kamińska-Dwórznička, R. V. Meneses, M. S. Silva. Проте, цими вченими не розглянуто можливості виробництва морозива на основі виключно сироватки та сироваткових концентратів, не досліджено можливості зниження вмісту лактози за поєднання різних способів ферментації, не розроблено узагальнені рекомендації щодо

виробництва морозива ацидофільного, зокрема сироваткового. Тому доцільним є проведення комплексного дослідження з метою розроблення технології морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного.

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

Дисертаційну працю виконано у Національному університеті харчових технологій в рамках трьох державних науково-дослідних робіт Проблемної науково-дослідної лабораторії, а саме «Наукове обґрунтування ресурсоефективних технологій харчових продуктів, збагачених поліфункціональними інгредієнтами» (державний реєстраційний номер – 0120U102556), «Реалізації ресурсозберігаючих методів модифікації функціонально-технологічних характеристик молочної сироватки в технологіях харчових продуктів цільового призначення» (державний реєстраційний номер – 0120U100868), «Розроблення технології повторного використання вторинних молочних ресурсів для виробництва нових продуктів та зменшення утворення харчових відходів» (державний реєстраційний номер – 0124U000965), а також у межах двох державних науково-дослідних проектів кафедри технології молока і молочних продуктів, а саме: «Формування якості і безпеки молочних і молокозмісних продуктів з натуральними компонентами (державний реєстраційний номер – 0117U004398), «Удосконалення існуючих та створення нових ресурсоефективних технологій молочних продуктів підвищеної харчової цінності» (державний реєстраційний номер – 0120U103103).

Мета, об'єкт, предмет та завдання наукового дослідження. Мета наукового дослідження – розроблення технології морозива ацидофільно-сироваткового зі зниженим вмістом лактози на основі рідкого концентрату сироватки з використанням функціонально-технологічних інгредієнтів.

Відповідно до встановленої мети дослідження необхідно вирішити комплекс взаємопов'язаних завдань:

- обґрунтувати вибір сировини, матеріалів, а також способів і режимів попереднього оброблення рідких концентратів сироватки як основи для одержання морозива;

- визначити раціональні режими гідролізу лактози у рідких концентратах сироватки для запобігання можливим вадам якості при їх подальшому застосуванні у складі морозива;

- дослідити можливість зниження цукру у морозиві за одночасного використання рідких гідролізованих концентратів сироватки в якості молочної основи та розробити базові рецептури морозива;

- визначити технологічні функції рідкого гідролізованого концентрату у складі морозива;

- дослідити можливість додаткового збагачення морозива білковими концентратами та ізолятами;

- перевірити вплив заміни стабілізаційної системи на β -глюкани різного походження на показники якості морозива та обґрунтувати рецептури сироваткового морозива;

- уточнити технологічні режими виробництва морозива сироваткового низьколактозного;

- провести дослідження амінокислотного складу, мікробіологічних, фізико-хімічних та органолептичних показників готового продукту;

- здійснити промислову апробацію наукової розробки та обґрунтувати очікуваний соціальний ефект від впровадження, а також економічну доцільність.

Об'єкт дослідження – технологія морозива на основі сироватки.

Предмет дослідження – концентрати демінералізованої сироватки неферментовані і ферментовані, суміші та зразки морозива на основі ферментованих концентратів демінералізованої сироватки, фізико-хімічні, органолептичні та мікробіологічні показники морозива, технологічні процеси виробництва морозива.

Методи досліджень. Під час виконання наукової роботи було використано загальновідомі та спеціальні, модифіковані методи дослідження фізико-хімічних, мікробіологічних та органолептичних показників модельних систем і зразків морозива, а також математичні та статистичні методи для оптимізації окремих етапів дослідження та обробки експериментальних даних.

Наукова новизна одержаних результатів. Вперше за рахунок застосування комбінованого ферментативного гідролізу лактози препаратами «GODO-YNL2» та «*L. acidophilus* LYO 50 DCU-S» вдалося досягти зниження її вмісту у сироваткових концентратах від 30,5% до 0,98%.

Вперше обґрунтовано можливість зниження потреби у цукрі в морозиві за рахунок високої концентрації лактози у негідролізованому концентраті сироватки та моносахаридів (глюкоза, галактоза) – у гідролізованому концентраті сироватки. В морозиві з негідролізованим концентратом сироватки зниження масової частки цукру сягає у перерахунку на його загальний вміст до 29%, а з гідролізованим концентратом – до 42%, що забезпечує досягнення характерного для морозива ступеня солодкості на рівні 0,8–0,9 одиниць.

Вперше встановлено, що поєднання ізоляту сироваткових білків за вмісту 3–5% та 40%-вого гідролізованого концентрату сироватки підвищує вологоутримуючу здатність сумішей, що призводить до формування дрібнокристалічної структури морозива з середнім діаметром кристалів льоду від 13,75 до 14,75 мкм.

Вперше виявлено суттєвий вплив β -глюкану з вівса (0,25–0,5%) на зниження криоскопічної температури сироваткового морозива, а для β -глюкану з дріжджів на її підвищення (0,25–0,5%), що відбувається внаслідок різниці їхньої молекулярної будови. Додавання β -глюканів до морозива сироваткового попереджує кристалізацію вільної води під час зберігання продукту за рахунок її ефективного виморожування вже на початкових стадіях обробки (не менше 80%).

Вперше виявлено здатність β -глюканів інгібувати процес утворення кристалів льоду у сироватковому морозиві більш ефективно, ніж стабілізаційна система. β -глюкан з вівса (0,25–0,5%) демонстрував тенденцію до збільшення кристалів льоду при зберіганні морозива до одного місяця з $16,31 \pm 0,15$ мкм до $20,01 \pm 0,72$ мкм. У зразку, що містив 0,25% дріжджового β -глюкану, утворюються найдрібніші кристали льоду ($8,49 \pm 0,37$ мкм у перший день) з подальшим мінімальним зростанням до $9,52 \pm 0,16$ мкм через один місяць.

Набули подальшого розвитку науково-практичні засади процесу гідролізу лактози у молочних харчових системах, а саме:

- виявлено закономірність щодо переважання вмісту глюкози над галактозою у ферментованих 30% та 40%-вих концентратах, що може вказувати на пригнічення активності ацидофільної палички в умовах підвищеного осмотичного тиску у концентратах;

- встановлено, що гідроліз лактози знижує ефективну в'язкість концентратів сироватки, однак, тиксотропність систем після ферментації збільшується, що вказує на те, що міцність зв'язків, які формуються внаслідок гідролізу лактози, є вищою, ніж у негідролізованих концентратах.

Практичне застосування отриманих результатів. Обґрунтовано рецептурний склад морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного, зокрема з харчосмаковими наповнювачами, розроблено принципову технологічну та апаратурно-технологічну схеми виробництва морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного. Розроблено нормативну документацію ТУ У 10.5-02070938-333:2024 «Рідкі гідролізовані концентрати демінералізованої сироватки» та ТУ У 10.5-02070938-334:2024 «Морозиво ацидофільне». Отримано патенти України на корисну модель (№ 152382 U UA) і на винахід (№ 128031 UA) на спосіб виробництва гідролізованого концентрату сироватки. Апробацію розробленої технології проведено у виробничих умовах: морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного на ПрАТ «Львівський холодокомбінат» та рідких концентратів сироватки на ТОВ «Кременецьке молоко».

Результати наукової розробки впроваджено у навчально-науковий процес кафедри технології молока і молочних продуктів Національного університету харчових технологій, зокрема, у межах дисциплін «Основи одержання морозива та заморожених десертів» і «Технології незбираномолочних продуктів та морозива», а також кваліфікаційних робіт на здобуття освітніх ступенів «бакалавр» і «магістр».

Особистий внесок здобувача полягає в тому, що здобувачем самостійно здійснено аналіз сучасного стану проблеми за обраною темою дисертаційної роботи, сформульовано мету та завдання дослідження, проведено експериментальні дослідження за обраною методологією, їх подальше оброблення, узагальнення та наукове пояснення, а також підготовку матеріалів статей, патентів, технічних умов, апробацію розробленої технології у промислових умовах.

Планування напрямків дослідження, методології, узагальнення та пояснення результатів експериментальної частини, підготовка публікацій до друку, апробація технології та продукту відбувалася за прямої участі наукового керівника – завідувачки кафедри технології молока і молочних продуктів НУХТ, проф., д.т.н. Поліщук Галини Євгеніївни.

Дослідження реологічних характеристик сумішей морозива проведено спільно із проф., д.т.н. Пасічним В.М., вимірювання активності води та визначення масової частки білка – спільно із ст.н.с., к.т.н. Мариніним А.І., розробка режимів гідролізу лактози та вивчення фізико-хімічних характеристик сумішей морозива з білками – спільно із проф., д.т.н. Млеко С. та проф., д.т.н. Томчинською-Млеко М., визначення вуглеводного складу спільно з к.т.н., н.с. Моїсеєвою Л.О., визначення характеристик кольоровості, параметрів текстури та мікробіологічних показників модельних систем з ізолятом сироваткових білків спільно з доц., докт. філ. Буньовською-Олійник М., вимірювання криоскопічної температури та дослідження кристалів льоду у морозиві спільно із проф., д.т.н. Камінською-Дворжницькою А., визначення амінокислотного складу морозива - спільно з гол. інженером-дослідником М'ясниковою М.П. Калькуляцію економічної ефективності від розроблення технології морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного проведено за консультативно-методичної допомоги к. е. н., доц. Арича М.І.

Особистий внесок здобувача підтверджується опублікованими роботами за темою дисертації.

Експериментальну частину дисертаційної роботи виконано у лабораторіях кафедр технології молока і молочних продуктів, технології м'яса і м'ясних продуктів, процесів і апаратів харчових виробництв, біотехнології і мікробіології та проблемної науково-дослідної лабораторії НУХТ, відділі молочних продуктів та продуктів дитячого харчування Інституту продовольчих ресурсів НААН України, відділі сигнальних механізмів клітин Інституту біохімії імені О.В. Палладіна НАН України, лабораторіях кафедр технології молочних продуктів та біоенергетики, харчового аналізу та мікробіології Жешувського університету, лабораторії кафедри харчової інженерії та управління процесами, лабораторії відділу технології молока Варшавського університету наук про життя, лабораторії кафедри технології молочних продуктів і функціонального харчування Люблінського університету природничих наук.

Апробація матеріалів дисертаційної роботи. Основні результати, викладені в розділах дисертаційної роботи були представлені та обговорені в рамках: X-ої Міжнародної науково-технічної конференції "Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції", 9-10 листопада 2021 р. (м. Київ); I-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми і практичні підходи виробництва та регулювання використання харчових добавок в країнах Європейського Союзу та в Україні» у рамках проекту програми ЄС ЕРАЗМУС+ Жан Моне Модуль (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.); XI-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті євроінтеграції», 8 листопада 2022 р., м. Київ; 89-ої Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті», 3-7 квітня 2023 р., м. Київ; XII-ої Міжнародної науково-технічної конференції «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті євроінтеграції», 7 листопада 2023 р., м. Київ; 90-ої

Міжнародної наукової конференції молодих учених, аспірантів і студентів, 11-12 квітня 2024 р., м. Київ; Всеукраїнської науково-практичної конференції Всеукраїнського форуму «Молочна промисловість від виробника до споживача: сучасні тренди та орієнтири», 29 травня 2024 р., м. Київ; II-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Актуальні проблеми хімії та хімічної технології», 21-22 листопада 2024 р. у м. Київ та XIII-ої Міжнародної науково-технічна конференція «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології у контексті Євроінтеграції», 26 листопада 2024 р. у м. Київ.

Публікації. За результатами наукової роботи опубліковано 34 публікації, з них 12 рецензованих статей у вітчизняних та міжнародних виданнях, зокрема 8 у виданнях, індексованих у наукометричних базах даних Scopus, 20 тез доповідей на міжнародних, всеукраїнських, науково-технічних конференціях, 2 патенти, з них 1 на винахід та 1 на корисну модель.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна праця складається з анотації, змісту, переліку умовних позначень, вступу, 6-ти розділів, висновків, списку використаних джерел, що складають 307 найменувань, 5 додатків. Робота містить 154 сторінки основного тексту, 42 рисунки та 44 таблиці.

РОЗДІЛ 1. ТЕХНОЛОГІЧНІ ІННОВАЦІЇ У ВИРОБНИЦТВІ МОРОЗИВА СИРОВАТКОВОГО

1.1. Аналіз світової практики у виробництві морозива сироваткового

Морозиво – це один із найбільш комерційно успішних десертів у світі, для якого характерний широкий асортиментний ряд з різноманітними смаками і технологічними варіаціями. Однак, сучасні тенденції розвитку харчової промисловості диктують необхідність пошуку нових підходів до виробництва цього продукту. Використання сироватки та продуктів її переробки дедалі ширше знаходить застосування у виробництві морозива та заморожених десертів (Roy, Hussain, Prasad, & Khetra, 2022; Trejo-Flores et al., 2023).

Якщо раніше сироватку розглядали як побічний продукт, більшу частину якої піддавали утилізації, то сьогодні вона є визнаною високоцінною сировиною (Awasthi et al., 2022). Раціональне застосування сироватки також сприяє зменшенню екологічного навантаження на довкілля (Zandona, Blažić, & Režek Jambrak, 2021). Виробники можуть використовувати сироватку у виготовленні нових продуктів і зменшувати таким чином обсяги відходів та оптимізувати використання наявних ресурсів. Це також відповідає глобальним тенденціям сталого розвитку та вимогам сучасних споживачів, які все більше звертають увагу на екологічність виробленої харчової продукції (Houf, Szymkowiak, & Shepherd, 2024).

Одним з перспективних напрямків раціональної переробки вторинних молочних ресурсів є їхнє застосування у складі морозива, у тому числі виробленого на основі сироватки та/або продуктів її переробки.

Морозиво є складною полідисперсною системою, що складається з водної (підсолоджувачі, солі, гідроколоїди), льодяної, жирової та повітряної фаз (рис. 1.1).

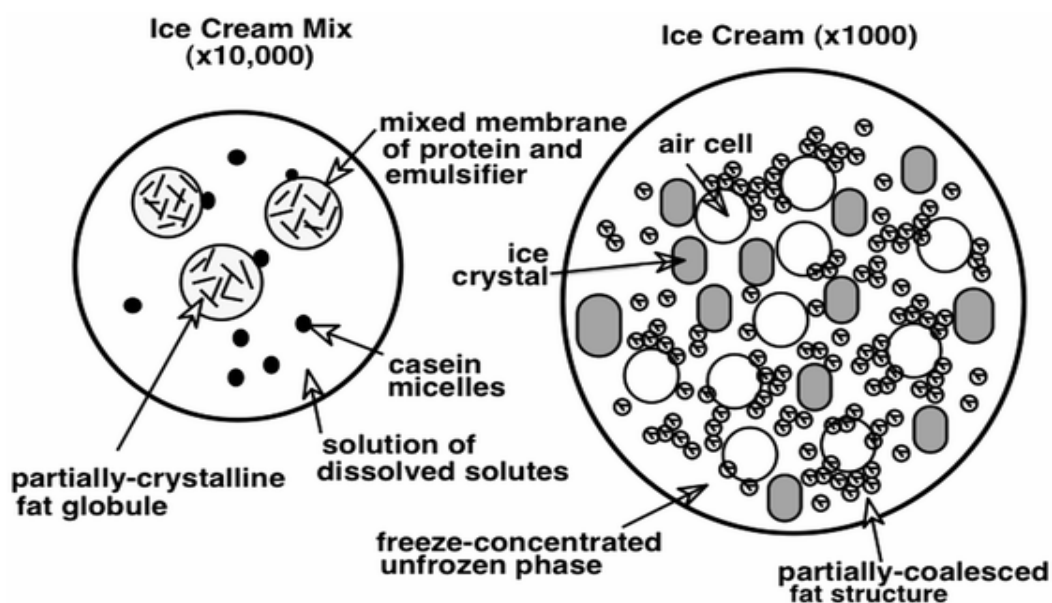


Рисунок 1.1 – Розподіл основних фаз та їх компонентів у суміші та морозиві (Goof & Hartel, 2012)

До рецептурного складу морозива можуть входити жировмісні інгредієнти, білки, вуглеводи, а також функціонально-технологічні харчові добавки – стабілізатори та емульгатори. Згідно з Goff & Hartel (2013), правильна комбінація цих інгредієнтів та їхня взаємодія забезпечують отримання продукту із м'якою текстурою та правильно сформованою мікроструктурою.

Морозиво сироваткове є замороженим десертом, який виготовляють на основі сироватки свіжої або сухої (підсирної, з-під сиру кисломолочного), у тому числі демінералізованої, з можливим додаванням овочевих або фруктових пюре і соків, молочнокислих бактерій та смако-ароматичних наповнювачів, молочної сировини (молоко, вершки) та функціонально-технологічних добавок (Patil & Banerjee, 2017; Goff, 2008; Kamińska-Dwórznička, Łaba, & Jakubczyk, 2022; Polischuk et al., 2021).

Сироваткове морозиво відноситься до морозива любительської групи, яке виготовляють невеликими партіями, що обумовлює його специфічні фізико-хімічні характеристики. Для детального розуміння та порівняння характеристик морозива даного типу із традиційними видами необхідно проаналізувати хімічний склад цього продукту різних груп.

Різноманітність видів морозива та заморожених десертів, що виробляються у світі, робить практично неможливим надання інформації про хімічний склад цього продукту з усіма можливими варіаціями.

Відповідно до класифікації Goff & Hartel (2013) всі типи морозива можна розділити на категорії залежно від хімічного складу продукту (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Категорії морозива за хімічним складом

Категорія	Жир, г	Білок, г	СЗМЗ, г	Підсолоджу вачі, г	Сухі речовини, г
Нежирне	≤ 0,5	3,5	12–14	18–22	28–32
Низькожирне	2–5	3,0	12–14	18–21	28–32
Низькокалорійне	5–7	3,0	11–12	18–20	30–35
Зі зниженим вмістом жиру	7–9	3,0	10–12	18–19	32–36
Економ-клас	10	2,1	10–11	15–17	35–36
Базове	10–12	2,6	9–10	14–17	36–38
Преміум-клас	12–14	2,6	8–10	13–16	38–40
Понад преміальний клас	14–18	5,0	5–8	14–17	40–42
Заморожений йогурт	2,0	3,0	–	14,0	–

Актуальною є технологічна задача у сфері виробництва морозива, яка полягає у забезпеченні якості нових видів цього продукту на преміальному або понадпреміальному рівнях. Враховуючи значні зміни у складі морозива (зниження вмісту цукру, жиру, заміна молочних інгредієнтів), вирішення такого завдання потребує досконалого аналізу компонентного складу морозива та його впливу на якість кінцевого продукту.

Хімічний склад морозива сироваткового залежить від застосованих інгредієнтів та конкретної технології. Meneses, Silva, Monteiro, Rocha-Leão та Conte-Junior (2020) повідомляли про склад різних видів сироваткового морозива, виробленого на основі сироватки підсирної, сироватки з-під рікотти та маслянки за різного їх співвідношення у рецептурному складі продукту. Аналізуючи ці

дані, можна усереднити діапазони основних складових сироваткового морозива (табл. 1.3).

Таблиця 1.3 – Хімічний склад морозива на основі вторинних молочних ресурсів (Meneses, Silva, Monteiro, Rocha-Leão, & Conte-Junior, 2020)

Показник	Морозиво на основі		
	сироватки з-під рикотти	сироватки з-під сиру сичужного	маслянки
Вільна вода, %	70,68–73,85	68,26–72,73	67,70–69,38
Зола, %	0,40–0,48	0,38–0,52	0,50–0,53
Жир, %	2,51–3,95	2,30–3,44	3,19–4,07
Білок, %	0,97–2,15	1,11–2,05	2,12–2,24
Вуглеводи, %	22,27–22,74	23,48–25,73	24,81–25,46
Цукор, %	17,44		
Енергетична цінність, ккал на 100 г продукту	115,55–135,11	119,06–142,08	136,43–147,43

Дані з табл. 1.3 вказують на зниження масової частки сухих речовин та збільшення частки вільної води у морозиві. Зі зростанням ступеня заміни молока незбираного на сироватку вміст цих складових знижується.

Неодноразово повідомлялося, що використання продуктів переробки сироватки у виробництві морозива є доцільним з точки зору їх високої поживної цінності та технологічних функцій, які вони здатні виконувати (de Meneses et al., 2023; Tvorogova, Gurskiy, Shobanova, & Smykov, 2023). Проте, часткова або повна заміна молочної основи на сироватку у морозиві суттєво впливає на його хімічний склад та, відповідно, на якість готового продукту. Безумовно, що специфічні характеристики морозива сироваткового потребують заходів щодо коригування рецептурного складу або технології, оскільки є висока ймовірність виникнення різноманітних вад якості, які погіршують текстуру, смак і стабільність готового продукту (табл. 1.4).

Таблиця 1.4 – Вади якості морозива на основі сироватки та методи їхнього усунення
(Young, 2007; Kamińska-Dwórznička, Łaba, & Jakubczyk, 2022; Polischuk et al., 2021; Goff & Hartel, 2013)

Вада	Причина	Наслідки	Метод усунення
Піщаниста текстура	Утворення кристалів лактози під час фризювання та загартування	Піщаниста текстура, погіршення смакового сприйняття продукту	Гідроліз лактози, використання стабілізаторів структури
Водянистість структури та розшарування фаз	Високий вміст вільної води	Розділення фаз, утворення кристалів льоду, погіршення текстури та кремоподібності	Використання біополімерів з високою водоз'язувальною здатністю, підвищення масової частки сухих речовин
Нестабільність під час зберігання	Розділення фаз та зміна структури морозива під час зберігання	Утворення грубокристалічної структури морозива	Збільшення масової частки сухих речовин, використання ультразвукового оброблення
Сирний присмак	Використання сухих продуктів з сироватки низької якості, отриманих із використанням застарілих технологій; окислення жирів або взаємодія з пакувальними матеріалами	Нетиповий смак та післясмак морозива (сирний, гіркий, металічний тощо)	Використання антиоксидантів, застосування інертних пакувальних матеріалів, контроль умов зберігання
Металічний гіркий присмак			
Надмірна повітряність	Висока здатність сироватки до піноутворення та надмірної аерації сумішей під час фризювання	Погіршення текстури, зменшення кремоподібності	Раціоналізація рецептурного складу, контроль процесу фризювання та вмісту повітряної фази в морозиві
Погіршення кольору	Природні особливості кольорових характеристик сироватки	Зміна кольору морозива від білого до жовто-зеленого	Використання натуральних барвників
Надмірна твердість	Низький вміст жиру, недостатня кількість стабілізаторів та емульгаторів структури	зниження органолептичної прийнятності внаслідок незручності споживання	Оптимізація рецептурного складу

Найбільшою проблемою у виробництві морозива сироваткового є забезпечення раціонального вмісту сухих речовин. За використання сироватки в якості молочної основи, рівень сухих речовин, зокрема високоцінних сироваткових білків, є доволі низьким. Високий вміст вільної води у сумішах сироваткового морозива подовжує процес визрівання та знижує його ефективність через низьку в'язкість сумішей, що в подальшому впливає на ефективність процесу фризеравання та якісні показники морозива.

Для компенсації нестачі сухих речовин у сироваткове морозиво вносять більше сахарози, що може в окремих випадках сягати до 22,2% (Barros et al., 2021). Однак, вподобання сучасних споживачів направлені на зниження масової частки сахарози в складі продуктів харчування. З технологічної точки зору, сахароза виконує у складі морозива не тільки роль підсолоджувача, а й є джерелом сухих речовин, забезпечує належне формування його структури та впливає на його якісні показники під час зберігання (Beegum et al., 2022). Саме тому, підхід до заміни сахарози у складі морозива повинен бути раціональним, зокрема, необхідно враховувати економічну складову та прогнозувати можливий вплив такої заміни на якість продукту під час зберігання.

Якщо низький відсоток жиру у сироватковому морозиві є позитивним аспектом з точки зору сприйняття споживачами, то масова частка білка, однозначно, потребує коригування, щоб вона відповідала хоча б його стандартному для заморожених десертів рівню. Потрібно враховувати, що в процесі виробництва морозива відбувається додатковий механічний вплив на суміші під час їх перемішування, дозування, фасування, транспортування по трубопроводах та апаратах (Kasapoglu et al., 2023). Структурно-механічні властивості сумішей морозива з низьким вмістом білку і жиру, в процесі обробки можуть суттєво змінюватися залежно від різних технологічних чинників – температури (Goff et al., 2013), вмісту вологи, її зв'язку з харчовим матеріалом (Soukoulis, Fisk, & Bohn, 2014), тиску (Innocente, Biasutti, Venir, Spaziani, & Marchesini, 2009).

З метою уникнення негативного механічного впливу на реологічні характеристики сумішей з низьким вмістом білка і жиру, необхідно удосконалювати їх склад за рахунок використання інгредієнтів з чітко вираженими вологозв'язуючими, стабілізуючими та піноутворюючими властивостями (полісахаридів, білкових інгредієнтів та ін.) (Cheng, Ma, Li, Yan, & Cui, 2015; Himashree, Sengar, & Sunil, 2022), що забезпечать прогнозоване формування показників якості.

1.2. Ферментування сумішей як спосіб підвищення якості морозива на молочній основі

Використання пробіотичних культур є одним з перспективних напрямків у виробництві харчових продуктів, що має ряд переваг для здоров'я людини і може впливати на якісні характеристики морозива.

Основним субстратом для молочнокислих бактерій під час сквашування молочної сировини є вуглеводна складова, що в більшості представлена лактозою (Coelho, Malcata, & Silva, 2022). Хімічний склад незбираного молока, як класичного інгредієнта традиційних видів морозива, та вторинних молочних ресурсів, як основи для виробництва цього продукту, наведено у табл. 1.5.

Таблиця 1.5 – Хімічний склад молочної сировини (de Meneses et al., 2022; Kuzmyk & Bohdanova, 2020; Mehta, 2015)

Показник	Сироватка сичужна	Сироватка кисла	Молоко незбиране
Сухі речовини, %	4,5–7,2	4,2–7,4	13,7–15,5
Лактоза, %	3,9–4,9	3,2–5,1	4,1–7,8
Білок, %	0,5–1,1	0,5–1,4	3,2–3,4
Жир, %	0,05–0,5	0,05–0,4	3,1–4,9
Зола, %	0,3–0,8	0,5–0,8	0,7–0,9

Відповідно до наведених даних, можна зробити висновок, що молочна сироватка не поступається молоку незбираному за вмістом лактози, проте, масова частка білка суттєво знижується, незалежно від виду сироватки. Тому сироватку можна розглядати як перспективну вуглеводну сировину для проведення ферментації, однак вона потребує суттєвого коригування білкової складової.

Вчені неодноразово вказували на те, що саме пробіотична культура *Lactobacillus acidophilus* є однією з найвідоміших та досліджених в контексті позитивного впливу на клітини кишківника людини (Jafarei & Ebrahimi, 2011). Вживання продуктів, збагачених пробіотиками, допомагає у підтриманні балансу корисної мікрофлори кишківника, зміцненні імунної системи та покращенні травлення, що особливо важливо в постковідний період (Buniowska-Olejniki et al., 2023; Nawryłkiewicz et al., 2021)

З технологічної точки зору пробіотики можуть покращувати текстуру і смак морозива. *Lactobacillus acidophilus* є продуцентом екзополісахаридів, які, окрім підвищення харчової цінності, здатні покращувати і стабілізувати структуру харчових систем (Singh & Saini, 2017). Окрім того, під час ферментації молочної складової продукуються молочна та інші органічні кислоти, які можуть покращувати смак продукту та зробити його більш вираженим і кремовим.

На вітчизняному ринку асортимент кисломолочного морозива практично відсутній. За останні десять років найбільші виробники морозива пропонують асортиментний ряд морозива, що містять смако-ароматичні наповнювачі, які імітують смак та/або запах йогурту, але нічого спільного з кисломолочним морозивом вони не мають, адже не виробляються на основі кисломолочної основи та не містять пробіотичних культур (наприклад, Морозиво ТМ «Три Ведмеді» зі смаком «манго-йогурт», Морозиво ТМ «Laska «Грецький факел» зі смаком «йогурту з полуничною підваркою», Морозиво двошарове зі смаком йогурту та лісових ягід у вафельному ріжку ТМ «Gelimo Лімо» та ін.).

Морозиво сиркове та йогуртове протягом певного часу було представлено львівською компанією ТМ «Лімо», однак наразі воно не реалізується. На даний момент на ринку пропонується йогуртове морозиво ТМ «Рудь» (табл. 1.6).

Таблиця 1.6 – Види кисломолочного морозива на вітчизняному ринку

Морозиво	Білок, %	Жир, %	Вуглеводи, %	Енергетична цінність, ккал на 100 г	Масова частка кисломолочної основи, %	Склад бактеріальних заквасок для ферментації сумішей
Морозиво ріжок «Заморожений йогурт», ТМ «Рудь», 150 г	3,8	11,2	30,1	236,0	15	<i>Streptococcus salvarlus</i> subsp. <i>thermophilus</i> , <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>bulgaricus</i>
Морозиво ТМ «Лімо» йогуртове «Холодний йогурт» 300 г в асортименті	3,6	8,0	23,6	180,0	80	<i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>Bulgaricus</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Bifidobacterium lactis</i>
Морозиво ескімо вершкове йогуртове в кондитерській молочній глазури в асортименті ТМ «Лімо «1965», 60 г	3,6	8,0	23,6	180,0	80	<i>Streptococcus thermophilus</i> , <i>Lactobacillus delbrueckii</i> subsp. <i>Bulgaricus</i> , <i>Lactobacillus acidophilus</i> , <i>Bifidobacterium lactis</i>
Морозиво ескімо вершкове сиркове в кондитерській молочній глазури в асортименті ТМ «Лімо «1965», 60 г	4,4	17,3	26,1	277,7	40	—

Наведені у табл. 1.6 види кисломолочного морозива вітчизняних виробників є продуктами з традиційним вмістом білка (3,6–4,4%), жиру (8,0–17,3%), що виготовлені на основі вершкового морозива та кисломолочної основи (від 15% до 80%). Також у рецептурному складі кисломолочного морозива зазвичай застосовують численні харчові добавки, смако-ароматичні наповнювачі та рослинні жири, що не вкладається у концепцію здорового харчування.

Кисломолочне морозиво на основі вторинних молочних ресурсів (маслянки, сироватки) на вітчизняному ринку не випускається, що пояснюється недостатнім усвідомленням виробниками потенціалу сироватки як високоцінної сировини у виробництві морозива, а також у небажанні розвивати нову технологію у складних соціально-економічних умовах.

Не меншою проблемою є обмеженість національного законодавства у цій сфері економічної діяльності. Типова технологічна інструкція з виробництва морозива (2007) передбачає випуск лише йогуртового та сиркового кисломолочного морозива.

Однак, в країнах СНД морозиво кисломолочне може бути виготовлене також на основі кефіру, ацидофіліну, айрану, ряжанки, простокваші, сметани, варенця та кумису. Слід зауважити, що запропоновані у вітчизняній типовій інструкції технологічні схеми виготовлення морозива кисломолочного доволі складні та містять певні протиріччя. Так, за першою технологічною схемою спочатку виготовляють молочно-білкову ферментовану основу, у яку вносять суміш стабілізатора із цукром, розплавлений жир та решту цукру, проводять пастеризацію, гомогенізацію суміші, потім її охолоджують, визрівають, фризують і загартовують з наступним дозагартовуванням та зберіганням (рис. 1.2).

Відповідно до першої схеми, існує ризик термокислотного зсідання білків під час пастеризації суміші з низькою кислотністю. Подальша гомогенізація суміші руйнує молочно-білковий згусток, внаслідок чого суміш розріджується, що призводить до нестабільності продукту під час його зберігання.

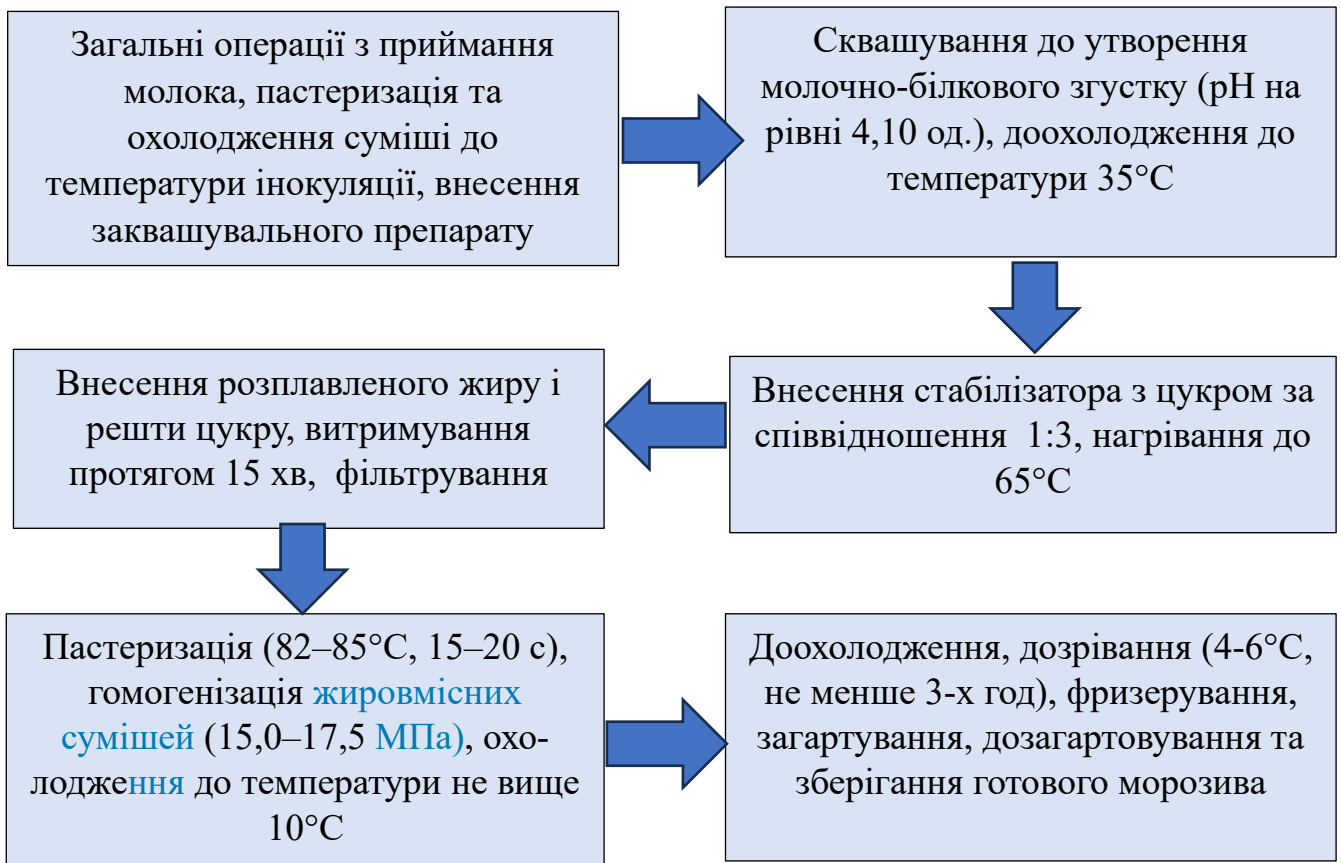


Рисунок 1.2 – Схема №1 виробництва кисломолочного морозива

Відповідно до другої технологічної схеми, окремо готують знежирений йогурт та жирову емульсію, які змішують, фризують суміш, загартовують і дозагартовують морозиво та відправляють на зберігання (рис. 1.3).

Друга схема виробництва кисломолочного морозива, як і перша, передбачає приготування молочно-білкового згустку з активною кислотністю не нижче 4,1 од. рН (~ 100–10°Т). Відповідно до ДСТУ 4733:2007 «Морозиво молочне, вершкове, пломбір. Загальні технічні умови» титрована кислотність морозива кисломолочного має становити не вище 60°Т (5,1–5,2 од. рН). Вочевидь, що за використання схем №1–2 проблематичним є дотримання необхідної кислотності готового продукту.

За третьою технологічною схемою процес приготування кисломолочної основи до моменту заквашування є подібним до загальноприйнятого. Після цього проводять сквашування, охолодження, фризуювання, дозагартовування продукту та відправляють на зберігання.

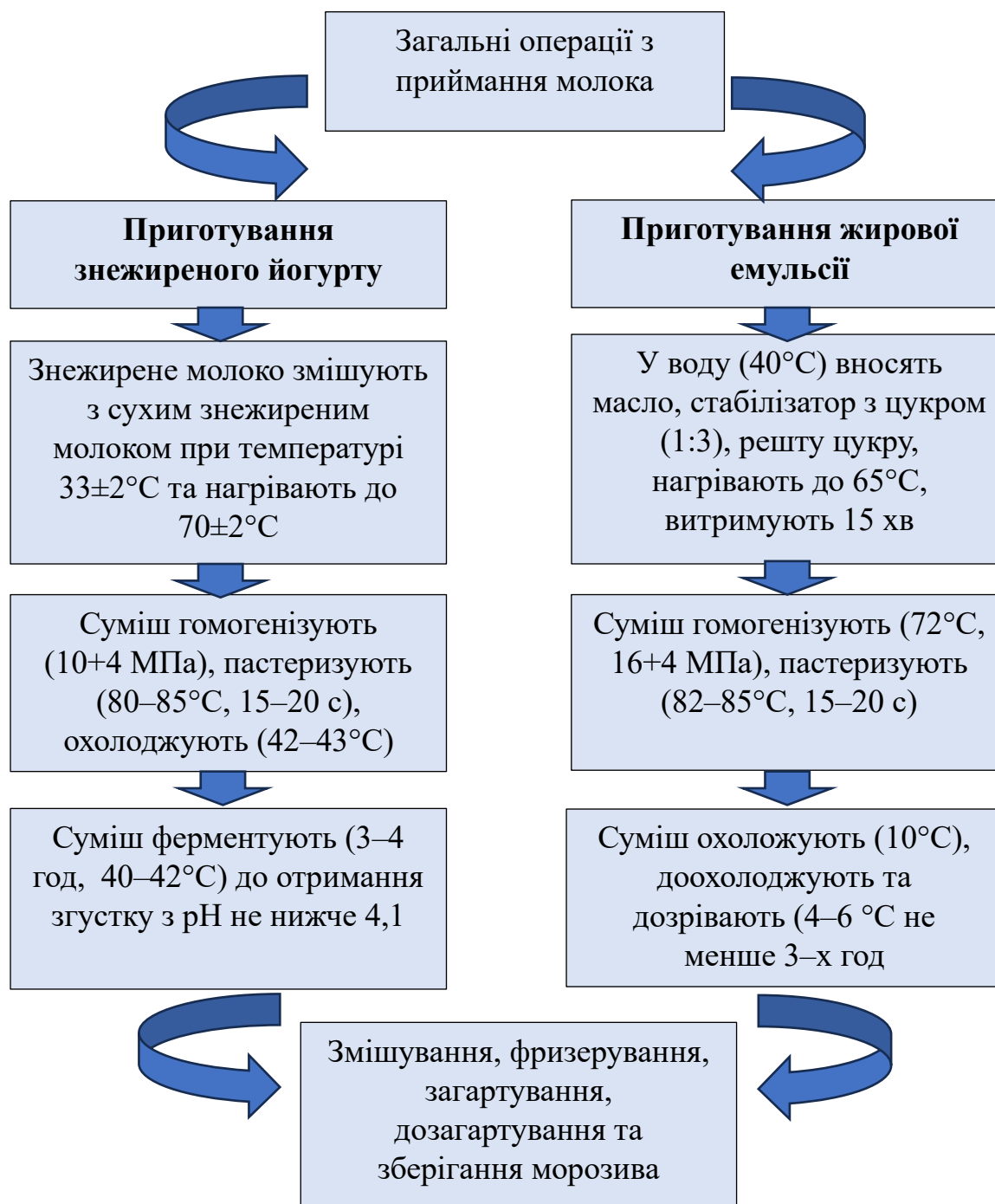


Рисунок 1.3 – Схема №2 виробництва кисломолочного морозива

Третя схема є найбільш простою (рис. 1.4), що дозволяє отримати морозиво кисломолочне з більш прогнозованими показниками якості. Водночас, представлені схеми не можуть бути використані для морозива, основою для якого є сироватка молочна, що обумовлено специфікою її хімічного складу та особливостями формування основних характеристик продукту.



Рисунок 1.4 – Схема №3 виробництва морозива кисломолочного

Досвід закордонних виробників морозива та заморожених десертів вказує на те, що технологія кисломолочного морозива є розвинутою тільки для йогуртового морозива на основі класичного складу компонентів. Водночас, інтерес до застосування інших пробіотичних культур у складі морозива з боку вчених підвищується останнім часом, що пов'язано з їх корисною дією на організм людини (Polo et al., 2023; Salem, Fathi, & Awad, 2005; Dertli et al., 2016). Однак, інформації щодо виготовлення кисломолочного морозива на основі вторинних молочних ресурсів вкрай мало.

Таким чином, створення технології ацидофільно-сироваткового морозива потребує вирішення комплексу завдань, що пов'язані із необхідністю суттєвого коригування його хімічну складу за масовою часткою сухих речовин, зокрема білка та цукру, для попередження виникнення типових органолептичних вад та відкриті можливості для отримання нових видів морозива з підвищеною харчовою цінністю.

1.3. Рідкі білково-вуглеводні концентрати як основа для виробництва морозива сироваткового

Для морозива сироваткового відсутні законодавчі та/або міжнародні вимоги щодо його хімічного складу, зокрема вмісту білка. За суттєвого зниження білка в сироватці, як основній сировині, стає неможливим забезпечити у морозиві його стандартний рівень вмісту (2,5–4,0%), що знижує харчову цінність продукту та зумовлює виникнення вад смаку, консистенції та текстури.

Для приведення показників сироваткового морозива до загальноприйнятого за вмістом білка рівня доцільно підібрати молочну основу, що у складі продукту забезпечить виконання певних технологічних функцій. За додаткового внесення білкових компонентів можна досягти більш суттєвого підвищення рівня білка, що дасть змогу класифікувати продукт, як збагачений білком або джерело білка.

Ринок білкових інгредієнтів з сироватки є одним з найбільш динамічних та прибуткових у сфері виробництва технічних молочно-білкових концентратів (Kumar, Chauhan, Shinde, Subramanian, & Nadasabapathi, 2018). Значні обсяги сироватки та стрімке розширення асортиментного ряду молочних продуктів спонукають виробників шукати нові підходи до застосування вторинних молочних ресурсів. Так, спостерігається розвиток технології рідких концентратів із сироватки різного походження, що були апробовані у складі йогуртів, кисломолочних десертів та напоїв, вершків, сметани та сирів (Henriques, Gomes, Carlos, & Gil, 2013; Henriques, Gomes, Rodrigues, Pereira, & Gil, 2011; Henriques, Gomes, Berges, & Pereira, 2019; Pereira, Henriques, Gomes, Gomez-Zavaglia, & de Antoni, 2015; Mykhalevych, Kostenko, Polishchuk, & Bandura, 2022; Polishchuk et al., 2023). Однак дані щодо їх застосування у технології морозива є обмеженими, адже їх виробництво та використання потребують детального вивчення, зокрема їх технологічних властивостей (табл. 1.7).

Таблиця 1.7 – Основні переваги використання рідких концентратів сироватки

Концентрат	Потенційні переваги технології	Переваги застосування у морозиві
Концентрат сироватки сублімаційного заморожування (Barros et al., 2021; Barros et al., 2022)	Екологічно чиста технологія з високою ефективністю та низьким енергоспоживанням, зі збереженням поживної цінності	Поліпшення формостійкості та фізико-хімічних показників, підтримка життєдіяльності <i>Bifidobacterium</i> BB-12
Концентрат сироватки, отриманий методом діафільтрації (Henriques, Gomes, & Pereira, 2017)	Видалення значної частини мінеральних солей та лактози	Інформація відсутня
Концентрати з сироватки кіз, овець (Marnotes, Pires, Díaz, Cobos, & Pereira, 2021)	Застосування ультрафільтрації є високоефективною технологією, що дозволяє концентрувати поживні складові сироватки	Поліпшення хімічного складу замороженого йогурту, підтримка життєдіяльності молочнокислих бактерій
Концентрат сироватки, отриманий методом ультрафільтрації (Henriques, Gomes, Carlos, & Gil, 2013)		Інформація відсутня
Гідролізований концентрат демінералізованої сироватки (Романчук, Моїсеєва, Гондар, & Рудакова, 2016)	Знижений вміст лактози, виражені технологічні функції	Інформація відсутня

Технологія сублімаційного концентрування дозволяє виробляти високоякісні харчові рідкі концентрати шляхом регенерації харчових розчинів на основі відділення чистих кристалів льоду від замороженої водної фази (Boaventura та ін., 2013). Canella та ін. (2019) запропонували за допомогою даного методу виготовити концентрат підсирної сироватки шляхом трьохетапного концентрування сухих речовин сироватки від 5,93% до 24,09%. Barros et al. (2021) застосували даний концентрат у технології морозива (масова частка у морозиві – 15,42–61,69%). Використання концентрату, отриманого за такою технологією,

має суттєвий вплив на хімічний склад і фізико-хімічні властивості морозива, зокрема, на масову частку сухих речовин, титровану кислотність, рН, в'язкість та збитість. Концентрована сироватка, як джерело сухих речовин, забезпечує поліпшену формостійкість морозива. Однак, на відміну від традиційної молочної основи, додавання рідкого концентрату сироватки впливає на колір продукту, зміщуючи його від білого до жовто-зеленого. Саме тому рекомендованою кількістю даного концентрату є у складі морозива є 50%, що забезпечує раціональне співвідношення між масовою часткою сироваткової основи та характеристиками готового продукту.

Marnotes, Pires, Díaz, Cobos та Pereira (2021) повідомляли про використання рідких сироваткових концентратів з козячої та овечої молочної сироватки, отриманих методом ультрафільтрації, для виробництва замороженого йогурту. Фізико-хімічні характеристики розроблених заморожених десертів суттєво відрізнялися за масовою часткою сухих речовин, білка, жиру та мінеральних речовин, а для деяких показників навіть перевищували рекомендовані діапазони. Концентрована овеча сироватка була більш ефективною у сприянні росту молочнокислих бактерій, що відкриває додаткові можливості до виробництва заморожених десертів, збагачених пробіотичними культурами.

Вплив від використання рідких концентратів сироватки на виживання та розвиток заквашувальних культур у морозиві був досліджений й іншими вченими. Barros та ін. (2022) досліджували доцільність використання концентрованої сироватки у виробництві морозива, збагаченого *Bifidobacterium* BB-12. Вироблені зразки морозива демонстрували кількість життєздатних клітин біфідобактерій на вищому від встановленого рівні. Окрім того, досліджено *in vitro*, що *Bifidobacterium* BB-12 демонструє рівень виживання на рівні 90% після проходження верхніх відділів травного тракту в товсту кишку.

Таким чином, поєднання пробіотичних бактерій і рідких концентратів сироватки при виробництві морозива може мати вирішальне значення для розширення лінійки функціональних харчових продуктів.

Відомо також про виробництво рідких концентратів сироватки, отриманих за іншими технологіями або з іншим хімічним складом, які успішно були апробовані в молочних продуктах, таких як твердий сир та кисломолочні продукти, але не застосовувалися у морозиві.

Henriques та ін. (2013) повідомляли, що застосування концентратів сироватки з масовою часткою сухих речовин на рівні 14,37% може бути альтернативою традиційним порошкоподібним інгредієнтам, що використовуються у виробництві молочних продуктів, оскільки їх використання зменшує витрати на молоко-сировину за одночасного збільшення масової частки сухих речовин у продукті. Їх застосування також дає змогу отримати кінцевий продукт з привабливими фізико-хімічними та сенсорними характеристиками, що притаманні продуктам з високим вмістом жиру.

Не менш доцільним варіантом може бути відновлення сухої сироватки до запланованої масової частки сухих речовин, що не потребує наявності високовартісного спеціалізованого обладнання, зокрема, установок для ультрафільтрації, нанофільтрації, діалізу та ін. (Мінорова та ін., 2021).

Bebek, Sert та Mercan (2024) повідомляли, що демінералізація сироватки може використовуватися як ефективний інструмент поліпшення технологічних властивостей сироватки, зокрема завдяки підвищенню розчинності, піноутворення, вологозв'язування, а також зниженню ступеню злежування та когезії. Проте, у науковій літературі існують певні протиріччя щодо впливу демінералізованої сироватки на активність молочнокислих мікроорганізмів.

Mohammadi, Mortazavian, Khosrokhavar та Da Cruz (2011) повідомляли, що повна демінералізація видаляє неорганічні солі і дещо знижує вміст органічних іонів, таких як лактати і цитрати, що негативно впливає на життєздатність та ріст *L. acidophilus*, *B. bifidum*, *L. reuteri*, *L. gasseri* і *L. rhamnosus*. Інші ж дослідження вказують на те, що високодемінералізована суха сироватка 70% у поєднанні з сухим незбираним молоком створює сприятливі умови для розвитку молочнокислих бактерій (Hiller & Lorenzen 2010; Akal & Yetisemiyen, 2016). Підвищення вмісту сухої сироватки у йогуртовому морозиві стимулює ріст *L.*

acidophilus и *Bifidobacterium* BB-12, що співвідноситься з дослідями інших вчених та підтверджує те, що суха сироватка загалом є поживним середовищем для розвитку мікроорганізмів (Akin, Akin, & Kirmaci, 2007; Akalin & Erişir, 2008; Ranadheera, Evans, Adams, & Baines, 2013). Однак, конкретні умови впливу на ті чи інші чинники мають бути досліджені для кожного випадку окремо.

З технологічної точки зору проблему може становити високий вміст лактози (біля 80%) у сироватці демінералізованій, який може призводити до виникнення вад консистенції морозива – грубокристалічної структури та піщанистої текстури, а також сніжистого смаку. Для попередження надлишкового кристалоутворення лактози у морозиві під час зберігання доцільно знижувати вміст лактози за рахунок використання препаратів з гідролізуючою активністю до прийняттого рівня, що для традиційних видів морозива становить біля 6%, за умови що не використовуються продукти переробки сироватки (Goff & Hartel, 2013).

Таким чином, використання сухої високодемінералізованої сироватки зі ступенем демінералізації більше 70% для виготовлення рідких концентратів сироватки як основи для виробництва морозива сироваткового, є доцільним як для підвищення вмісту білка до рівня традиційних видів морозива, так і для поліпшення показників якості готового продукту.

1.4. Доцільність гідролізу лактози у рідких концентратах сироватки та морозиві

Лактоза ($C_{12}H_{22}O_{11}$) – це дисахарид, що є основним представником вуглеводної складової молока. Він складається з моносахаридів галактози і глюкози, що з'єднані 1,4-глікозидним зв'язком (рис. 1.5). Лактоза є менш розчинна у воді порівняно з іншими сахаридами, що обумовлює її підвишену здатність до кристалізації (Portnoy & Barbano, 2021).

З технологічної точки зору, вуглеводна складова молочних продуктах відіграє важливу роль не тільки у формуванні смакових характеристик, а й реологічних та структурно-механічних.

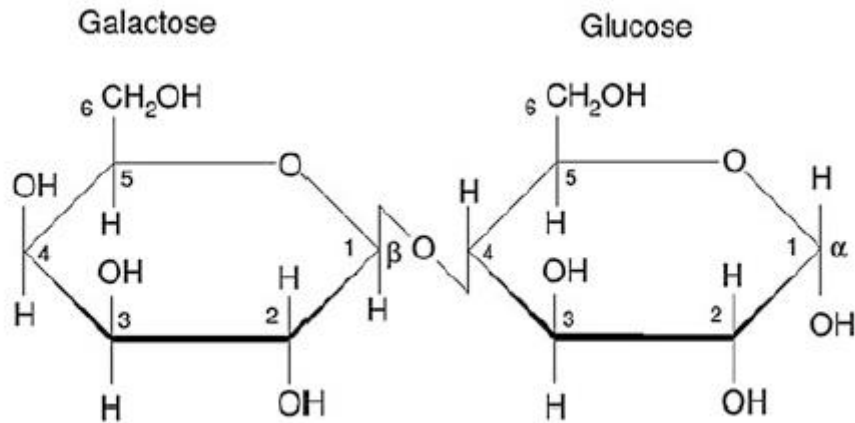


Рисунок 1.5 – Хімічна будова лактози (Cheung & Mehta, 2013)

Стабільна (альфа) форма лактози, що присутня у молочних харчових системах має тверді погано розчинні кристали, які можуть збільшуватися та зростатися з іншими у великі агломерати за перепадів температури, що відчуваються при споживанні продукту як тверді часточки (Goff et al., 2022). Саме цей ефект класифікується як дефект "піщанистої" текстури або консистенції, який відноситься до морозива, плавлених сирів та згущених молочних продуктів (Alvarez, 2023).

З метою уникнення негативного впливу лактози можливим є зниження її вмісту за рахунок гідролізу. Частково цього можна досягти і під час сквашування суміші морозива (Paongphan, Ditudompo, Vitheejongjaroen, Pachekreapol, & Taweechoitipatr, 2023), але враховуючи значний вміст молочного цукру у демінералізованій сироватці доцільним є його проведення на етапі виробництва рідких концентратів.

Окрім того, передбачається, що утворені внаслідок конверсії молочного цукру моносахариди забезпечуватимуть виконання низки функцій. Відомо, що гідроліз лактози до глюкози та галактози значно покращує засвоюваність цукрів

організмом людини (Gray, 1970). Моносахариди абсорбуються швидше і легше перетравлюються, ніж дисахарид лактоза, що особливо важливо для осіб з непереносимістю лактози.

Глюкоза та галактоза мають вищу солодкість, ніж лактоза. Це дозволяє знизити загальний вміст цукрів у продукті, зберігаючи бажаний рівень солодкості (Schmidt, C., Mende, S., Jaros, D., & Rohm, H. (2016). Крім того, моносахариди мають меншу схильність до кристалізації, ніж лактоза, що зменшує ризик утворення кристалів у готовому морозиві, покращуючи його текстуру та стабільність.

Також гідроліз лактози може бути корисним на етапі сквашування сумішей морозива, оскільки полегшує засвоєння сахаридів мікрофлорою заквашувального препарату (ЗП) (Hernández-Hernández et al., 2012). Це сприяє кращому контролю над процесом ферментації та стабільності готового продукту.

До відомих методів гідролізу лактози можна віднести фізичні (фільтрація через мембрани та діаліз), а також біологічні (ферментативні) (Bella, Pilli, & Rao, 2023). В науковій літературі наявна інформація про використання фізичних методів у виробництві рідких концентратів на основі вторинних молочних ресурсів для використання в якості основи для молочних продуктів.

Henriques, Gomes та Pereira (2017) отримали рідкі концентрати сироватки з масовою часткою сухих речовин 15,08–19,08% методом ультрафільтрації. Додатково була застосована діафільтрація, основною метою якої було зменшення масової частки лактози та солей для отримання концентрату зі зниженим вмістом лактози та мінеральних солей на рівні 2,37% (для концентратів без діафільтрації – 4,45–6,06%).

Bondar, Trubnikova та Chabanova (2018) повідомляли, що комбінація ультрафільтрації та безперервної діафільтрації за допомогою НФ пермеату дає бажаний результат видалення лактози з концентрату маслянки. Найкращими параметрами процесу досліджень були тиск 1,5 МПа та температура 50°C.

Загалом, фізичні методи видалення лактози широко відомі та апробовані, однак вони більше підходять для великих молокопереробних комплексів, що отримують сироватку як побічний продукт виробництва.

Повної або часткової ферментації лактози також можна досягти за рахунок використання мікроорганізмів з вираженою β -галактозидазною активністю або ферментних препаратів β -галактозидаз. Останній метод знайшов широке поширення у низці країн, таких як США, Франція, Фінляндія та ін. (Гніцевич, Чикун та Гончар, 2017).

Відновлена сироватка не поступається молоку як поживне середовище для лактобактерій, а швидкість ферментативної реакції залежить лише від початкового вмісту лактози у молочній системі (Matijević, Lisak, Božanić, & Tratnik, 2011; Drgalic, Tratnik, & Božanić, 2005; Stehlik-Tomas, Grba, Stanzer, & Gulan-Zetić, 2001). Високою β -галактозидазною активністю серед відомих мікроорганізмів відзначаються молочнокислі бактерії, а саме вчені виділяють *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus* та *Lactobacillus acidophilus* (Vasudha, Prashantkumar, Bellurkar, Kaveeshwar, & Gayathri, 2023).

Співробітниками відділу біотехнології Інституту продовольчих ресурсів НААН України було проведено роботу з селекції мікроорганізмів з метою розробки ЗП, що використовуються у технологіях кисломолочних продуктів. До складу таких бакконцентратів було залучено як лактобактерії, так і біфідобактерій з високими здатністю до адгезії, антагоністичними властивостями до збудників кишкових захворювань (Потемська, Кігель, Даниленко та Копилова, 2017; Даниленко, Науменко та Потемська, 2019). Найвищу активність спостережено для композиції культур *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus* та *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *bulgaricus*, яка сквашувала близько 26% лактози у маслянці та 30% у суміші маслянка-ретентат (Романчук, Моїсєєва, Мінорова, Рудакова та Крушельницька, 2023).

Сквашування йогуртної основи для морозива з комбінацією заквашувальних культур DVS: FD YF-903 + LA-5 проходить за 5 годин (до рН 4,68), а з закваскою

«Йогурт» VIVO – за 7 годин (до рН 4,62). При цьому масова частка лактози в процесі сквашування зменшується на 28–33% (Трубнікова, Шарахматова, Мамінтова та Цупра, 2018).

Для виробництва ацидофільної основи сквашування необхідно проводити за допомогою культури *Lactobacillus acidophilus*, для якої характерним є виражене кислотоутворення. При ферментації молока *Lactobacillus acidophilus* розщеплює до 0,9–1,0% молочного цукру, утворюючи L(+) або DL-ізомери молочної кислоти (Вежлівцева, Мінорова, Крушельницька, & Наріжний, 2021). Тобто, у разі виробництва морозива ацидофільного на основі рідких концентратів демінералізованої сироватки суттєвого зниження лактози буде досягти неможливо лише за використання пробіотичних культур. Доцільним є розгляд можливості додаткового застосування ферментних препаратів лактаз.

На ринку технологічних препаратів комерційно доступними є два основних типи ферментів лактази, – нейтральні та кислі (Nivetha & Mohanasrinivasan, 2017). Якщо перші, в основному, використовуються для промислового виробництва продуктів зі зниженим вмістом лактози та низьколактозних, то другі – в якості добавки, яку споживачі можуть приймати спільно з молочними продуктами для розщеплення лактози під час процесу травлення (Dekker, Koenders, & Bruins, 2019).

Ферментний препарат β -галактозидаза виробляється з дріжджів *Kluyveromyces lactis*, *Kluyveromyces fragilis*, *Saccharomyces lactis* або *Kluyveromyces marxianus* (Singh & Sambyal, 2023). Наразі його виробництво провадять найбільші гравці ринку харчових добавок: DSM Food Specialties (ТМ «Maxilact», Heerlen, Нідерланди), Godo, Nagase і Amano (Японія) для виробників Halactase (ТМ «Chr. Hansen», Ересунд, Данія), Lactozyme Pure (ТМ «Novozymes», Багсвард, Данія) і Dupont (ТМ «Godo YNL2», Вілмінгтон, Делавер, США) (Cieśliński et al., 2016).

Всі ферментні препарати вироблені з дріжджів *Kluyveromyces lactis* мають однаковий механізм дії, однак є різниця у ступені їх очистки. Саме тому, для формування належних умов ферментативної дії β -галактозидаз необхідно чітко

дотримуватися вказівок виробника щодо рекомендованої концентрації ферменту, кислотності середовища, а також температури та тривалості процесу гідролізу лактози у харчових системах (Dutra Rosolen, Gennari, Volpato, Fernanda, Volken de Souza, 2015; Гніцевич, Чикун, Гончар, 2017).

Наявні й інші комерційні ферментні препарати, зокрема вироблені з *Aspergillus oryzae*, однак наукові дані вказують на те, що вони не є поширеними до використання у технологіях харчових продуктів через вищу ціну, а також складні рекомендації щодо використання (різні оптимальні діапазони активної кислотності, температури та тривалості процесу) (Shi, Wu, Xu, & Yu, 2022).

Окрім того, наявна інформація щодо їх негативного впливу на показники якості готових продуктів. Романчук, Мінорова, Рудакова та Моїсеєва (2020) встановили, що аналіз вмісту небілкових азотистих сполук у сироватці, гідролізованій ФП грибного походження, свідчить про збільшення їх вмісту зі збільшенням концентрації ФП. Препарат кислоти лактази у своєму складі може містити домішки протеолітичних ферментів, що з накопиченням небілкових азотистих сполук супроводжувалось погіршенням органолептичних характеристик продукту.

Найбільш дослідженим ФП для гідролізу лактозу у молочних продуктах є нейтральна лактаза ТМ «GODO-YNL2», що має прогнозований вплив на проходження процесу.

Красуля та Грек (2013) дослідили процес гідролізу лактози в підсирній сироватці з яблучним пектином та виявили, що фермент «GODO-YNL2» забезпечує ступінь гідролізу лактози (СГЛ) 55–60% за активної кислотності середовища 6,0–6,5 одиниць рН, температури 30°C та тривалості обробки 5–6 год.

Романчук, Мінорова, Рудакова та Моїсеєва (2020) повідомляли, що за використання препарату GODO-YNL2 можливо досягти СГЛ до 75–80% від початкової концентрації (8–10%) у рідкій молочній сироватці зі ступенем демінералізації 90%, що була отримана після електродіалізу та нанофільтрації.

Для отримання такого результату необхідно застосовувати температуру оброблення на рівні $45 \pm 1^\circ\text{C}$ та 0,4% нейтральної лактази.

Однчасне застосування ферменту та ЗП може інтенсифікувати даний процес, що особливо доцільно, зважаючи на високий вміст лактози у сухій демінералізованій сироватці та відновлених концентратах, що будуть з неї виготовлені. Закономірності гідролізу лактози у таких харчових системах можуть відрізнятися від відомих даних, встановлених попередниками, та потребують детального вивчення.

Окрім технологічного ефекту від гідролізу лактози, що запобігатиме її кристалізації та виникненню вад якості морозива, є й інші переваги від застосування даного процесу. Під час гідролізу відбувається розщеплення лактози на моносахариди (глюкоза та галактоза). Якщо, глюкоза міститься в овочах та фруктах, то галактоза у чистому вигляді у продуктах харчування не зустрічається (Clemens et al., 2016; Weese, Gosnell, West, & Gropper, 2003). Прийнято вважати, що в результаті гідролізу молочного цукру β -галактозидазою відбувається утворення та накопичення глюкози та галактози в рівних кількостях, однак, при застосуванні ферментолізу їх масова частка буде змінюватися через дію ацидофільної палички.

За даними Романчук, Мінорової, Рудакової та Моїсеєвої (2020) за оптимальних температурних умов ступінь гідролізу був максимальним та призводив до переважного утворення глюкози, а у разі підвищення температури ферментації – ступінь гідролізу лактози зменшувався та у середовищі переважала галактоза. Авторами відмічено, що співвідношення між масовими частками глюкози та галактози коливалось в діапазоні від 1,08% до 1,6 % в залежності від виду ферментного препарату та температури ферментації.

Лактоза займає одне з останніх місць за відносною шкалою солодкості. У порівнянні з сахарозою, вона в 5–6 разів менш солодка та має індекс солодкості на рівні 16-ти умовних одиниць. Водночас, продукти її гідролізу мають значно вищий ступінь солодкості, що для глюкози складає 73 одиниці, а для галактози – 32. Завдяки накопиченню галактози та глюкози продукт має виражений солодкий

присмак, що дає можливість не використовувати цукор у рецептурному складі харчових продуктів (Романчук, Моїсєєва, Гондар та Рудакова, 2016).

Саме тому використання рідкого гідролізованого концентрату демінералізованої сироватки у складі морозива сироваткового дозволить вирішити наступні завдання:

- частково замінити цукор за рахунок підвищеної солодкості моносахаридів у складі концентрату з одночасним підвищенням вмісту сухих речовин до рівня повножирового аналогу (30–40%);
- попередити надлишкову кристалізацію лактози під час зберігання морозива, що призводить до утворення вад консистенції (піщанистість, борошнистість).

З іншої сторони, у складі морозива лактоза виконує технологічні функції, що обумовлюють формування калігативних характеристик продукту, а саме знижує осмотичний тиск, кріоскопічну температуру ($t_{кр}$) та підвищує температуру кипіння.

Зниження масової частки цукру у морозиві, а тим більше наявність продуктів гідролізу лактози – моносахаридів (глюкози та галактози), що мають нижчу молекулярну масу та, відповідно, вищу концентрацію (Queiroz et al., 2021), буде інтенсивніше знижувати $t_{кр}$ та кількість вимороженої води (ω) під час фризювання та загартування (Pertsevoy et al., 2022). Такі зміни можуть знижувати опір до танення та збитість морозива (Arellano, Benkhelifa, Flick, & Alvarez, 2012; Buysck, Baer, & Choi, 2011).

Саме тому необхідно розглянути можливість застосування натуральних біополімерів у складі морозива на основі гідролізованих концентратів сироватки, що здатні сповільнювати процес виморожування вільної води за рахунок додаткового її зв'язування (Tay, Agatha, Somang, Yuliarti, & Tan, 2022).

1.5. Особливості збагачення морозива білком

В країнах ЄС харчова і поживна цінність продуктів контролюється Директивою № 1924/2006, відповідно до якої харчовий продукт вважається

джерелом білка, якщо мінімум 12% його енергетичної цінності забезпечено білковими речовинами, а в продуктах з високим вмістом білка – мінімально 20%.

Додаткове введення до складу морозива білкових інгредієнтів є доцільним не тільки з метою розширення асортименту продуктів, збагачених білком (Axentii, Stroe, & Codină, 2023; Arranz et al., 2023), але й для попередження надмірного виморожування вільної води у сумішах і морозиві під час низькотемпературного оброблення (Liu, Liu, Liu, Kan, & Wang, 2021), забезпечення формування дрібнодисперсних бульбашок повітря в об'ємі продукту під час фризювання (Tvorogova, Gurskiy, Shobanova, & Smykov, 2023; El-Zeini, Moneir, Mostafa, Yasser, 2016), надання продукту привабливих споживчих характеристик за одночасного покращання опору таненню, збитості та смаку (Hossain, Petrov, Hensel, & Diakité, 2021; Das & Hooda, 2023).

Молочно-білкові інгредієнти поділяють на дві основні групи: базові (традиційні) та функціональні. Класифікацію технічних молочно-білкових інгредієнтів наведено на рис. 1.6. **Не можна залишати напівпусту сторінку. Тому додаю текст, що йшов після рисунка.**

Найбільш відомими прикладами використання у рецептурному складі морозива є традиційна група молочно-білкових концентратів. Основними перевагами сухого знежиреного та незбираного молока є відносно низька вартість, порівняно з іншими молочно-білковими концентратами, доступність та можливість тривалого зберігання (Konar et al., 2023). Їхнє помірне використання у технології високожирних видів морозива дозволяє підвищити якісні показники продукту (Sulejmani & Demiri, 2020), проте, це не дозволяє досягти суттєвого підвищення масової частки білку у кінцевому продукті. Загалом, використання базових молочних білкових інгредієнтів для виробництва морозива сироваткового не дозволить досягнути поставленої задачі, а саме підвищити масову частку білка за одночасного покращення показників якості продукту.

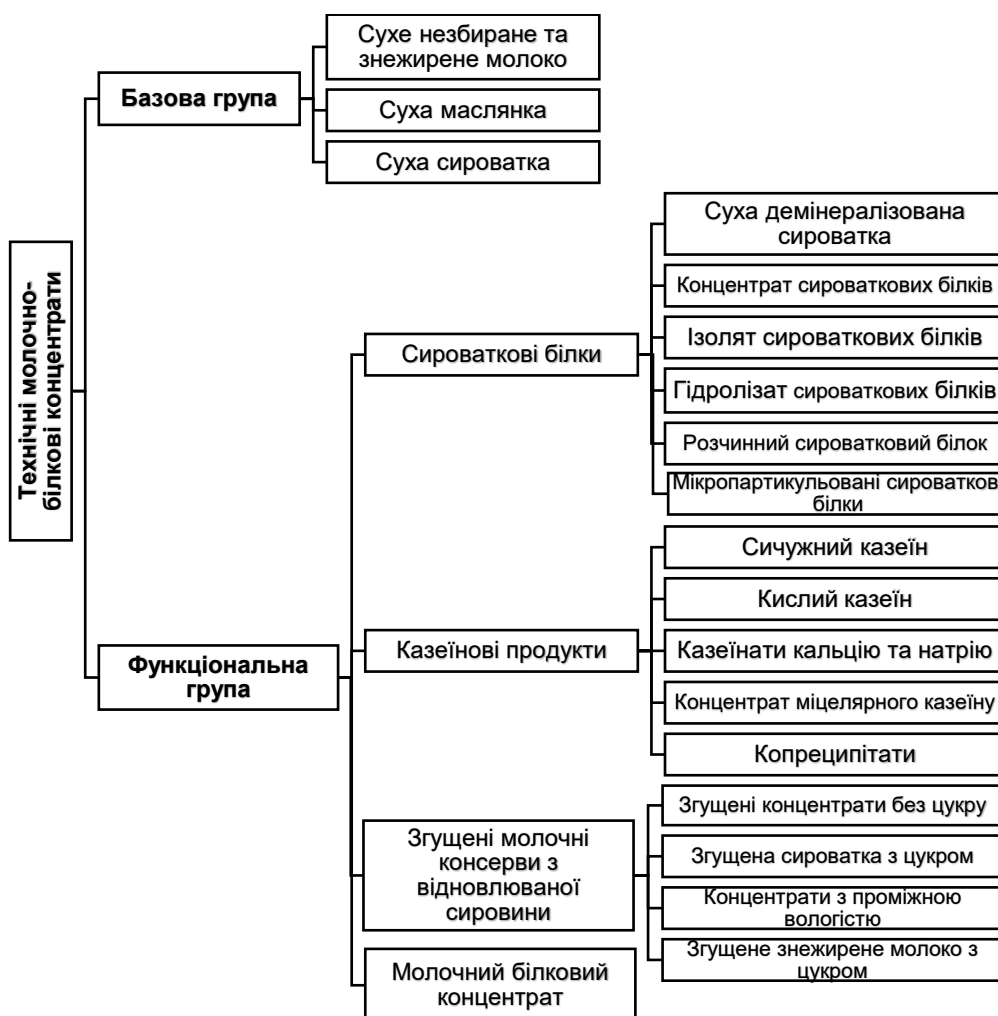


Рисунок 1.6 – Класифікація технічних молочно-білкових інгредієнтів

Серед сироваткових білкових інгредієнтів у технології морозива широко застосовують концентрат сироваткових білків (КСБ). Однією з головних переваг застосування КСБ в технології морозива є його помірна структуруюча здатність, порівняно з міцелярним казеїном і казеїнатами, що може позитивно впливати на процес фризеравання (Polishchuk et al., 2020).

Ізолят сироваткових білків (ІСБ) за відсутності жиру та лактози має нейтральний смак та високу розчинність. В дослідженнях щодо впливу ІСБ на якісні показники морозива вже повідомлялося про його здатність підвищувати в'язкість сумішей морозива, опір до танення та маскувати відсутність або низький вміст молочного жиру у продукті (Saentaweasuk & Chaikham, 2023; Saentaweasuk & Aukkanit, 2022; Roy, Hussain, Prasad, & Khetra, 2022). Так, доведено можливість часткової або повної заміни яєчного жовтка на ІСБ (20, 50,

80, 100%) у м'якому ванільному морозиві (Alfaifi & Stathopoulos, 2010). Зі збільшенням масової частки ізоляту сироваткових білків в рецептурі збитість та опір до танення морозива зростає, однак, його зменшення призводить до зменшення в'язкості. Заміна яєчного жовтка на 20 та 50% ІСБ не впливає на розміри кристалів льоду, в той час як вища концентрація сприяє зменшенню їх розміру та рівномірному перерозподілу в об'ємі продукту, що пояснюється здатністю ІСБ утворювати специфічну мікроструктуру (Patel, Vaer, & Acharya, 2006), повітряна фаза якої витісняє великі кристали льоду та, як наслідок, значно поліпшує смак морозива.

В іншій праці досліджено заміну сухого знежиреного молока на ІСБ від 1 до 4% (El-Zeini, El-Abd, Mostafa, & El-Ghany, 2016). Він несуттєво впливає на вміст сухих речовин та жиру, однак за зростання масової частки білка збитість морозива зростає, але опір до танення знижується, що обмежує його вміст у рецептурі даного виду морозива до 3%. Схожі дані наводять й інші дослідники (Goff & Hartel, 2013), які вважають, що вміст сироваткових білків, зокрема ІСБ у морозиві має становити не більше 4% з метою досягнення раціональної взаємодії між функціонально-технологічними властивостями даної добавки та показниками якості готового продукту. Однак сироваткові білки можуть призводити до погіршення кольору морозива, особливо під час зберігання, а також формувати гіркуватий присмак, що пов'язано із специфічними органолептичними властивостями сироватки (Song, Perez-Cueto, & Bredie, 2018; Salem, Hamad, & Ashoush, 2016; Zhang, Xu, Liu, Shi, & Zhang, 2023).

Roy, Hussain, Prasad та Khetra (2022) також повідомляли про зниження збитості морозива від 94,9% до 33,9% за підвищення вмісту білку у морозиві від 4% до 10% через використання ІСБ. За рахунок специфіки амінокислотного складу ІСБ відноситься до групи білкових добавок, що спроможні інгібувати рекристалізацію льоду (Attia, Al-Harthi, Korish, & Shiboob, 2020; Loveday, 2019; Van Vlierberghe, Graulus, Keshari Samal, Van Nieuwenhove, Dubruel, 2014). ІСБ також можна використовувати як функціонально-технологічний інгредієнт (емульгатор, загусник, гелеутворювач, піноутворювач і водозв'язувальний агент)

у виробництві морозива із характеристиками, подібними до повножирових аналогів (de Castro et al., 2017). До того ж, вчені повідомляли, що ІСБ здатен підтримувати життєдіяльність пробіотичних бактерій роду *Lactobacillus* або *Bifidobacterium* у молочних продуктах (Khem, Small, & May, 2016; Maleki, Khosrowshahi Asl, Alizadeh Khaledabad, & Amiri, 2023), що є важливим аспектом у даному дослідженні, яке стосується розробки кисломолочного морозива.

Кількість наукових досліджень із використання гідролізату сироваткового білка (ГСБ) у технології морозива є вкрай обмеженою через його високу вартість (Hinnenkamp & Ismail, 2021), що пов'язано з технологією отримання, а також недостатньою обізнаністю потенційних споживачів щодо переваг його споживання. Також відомо, що ГСБ не може набути широкого застосування через гіркий смак та високу гігроскопічність (Yang et al., 2012), хоча він і визнаний як інгредієнт з вираженою фізіологічною функціональністю.

Іншою підгрупою білкових добавок у галузі морозива та заморожених десертів є казеїнові продукти. Використання казеїнатів кальцію та натрію в різних видах морозива є обмеженим через погіршення смакових властивостей за перевищення концентрації білкової добавки (Alvarez, 2023). Типовою ознакою надлишку казеїнатів у морозиві є лужний присмак та помірна збитість.

На відміну від казеїнатів натрію та калію концентрат міцелярного казеїну вважають білковим інгредієнтом нового покоління, який виявляє високу розчинність, емульгувальну та піноутворювальну властивості та краще засвоюється організмом (Zhao et al., 2022). Міцелярний казеїн містить 70–85,5% білка, який має повноцінний профіль амінокислот із розгалуженими ланцюгами, а його масова частка у морозиві може сягати 6–8 % (Polishchuk et al., 2020), що обумовлено підвищеною гелеутворюючою здатністю та нейтральним запахом і приємним смаком. Водночас, перевищення рекомендованої дози може призвести до надмірного загущення суміші для морозива, що ускладнить насичення повітрям продукту під час фризювання.

У виробництві морозива зі зниженим вмістом лактози та/або жиру також застосовують концентрат молочного білка (КМБ), який за рахунок високого

вмісту сухих речовин компенсує їх нестачу у продукті та попереджає ряд вад консистенції та смаку. Alvarez, Wolters, Vodovotz та Ji (2005) вивчали можливість часткової заміни (20, 50%) білкової фракції морозива на КМБ з масовою часткою білка 56 та 85%. КМБ із заміною до 50% не виявив значного впливу на фізико-хімічні показники морозива, але підвищував в'язкість сумішей, що вказує на його недостатньо виражені функції як технологічної добавки.

Не меншим інтересом у харчовій галузі користуються білки рослинного походження, проте дослідження щодо заміни жиру рослинними білками в морозиві або використанні їх у нежирних видах морозива обмежені. Найпоширенішими у харчовій промисловості є білкові добавки з сої, що пов'язано з їхньою ціною доступністю та доведеними функціонально-технологічними властивостями (Biswas, Chakraborty, Choudhuri, 2002). До основних властивостей соєвих білків у технології морозива відносять міжфазну (водоутримувальна, жирозв'язувальна та емульгуюча здатності), технологічну (структуруюча здатність), органолептичну (поліпшення смаку, текстури) та харчову, в тому числі підвищення енергетичної та біологічної цінності (БЦ) (Akbari, Eskandari, Davoudi, 2019; Akesowan, 2009).

Хоча деякі дослідження проводилися з соєвим білком як заміником жиру, він часто використовувався в поєднанні з полісахаридами у складі композицій. Для розуміння можливої дії ізоляту сироваткових білків у складі сироваткових сумішей потрібні додаткові дослідження.

Підсумовуючи, серед розглянутих білкових інгредієнтів найбільш доцільним є вивчення можливості використання у складі морозива ацидофільно-сироваткового концентрату сироваткових білків (КСБ), ізоляту сироваткових білків (ІСБ), концентрату міцелярного казеїну та ізоляту соєвих білків (ІСОБ) як таких, що мають виражені функціонально-технологічні властивості та суттєво збільшуватимуть вміст білка у продукті.

1.6. β -глюкани як альтернатива стабілізаційним системам у складі морозива

Виробництво морозива, яке відповідає сучасним вимогам споживачів щодо здорового харчування та «чистої етикетки», що, зокрема, включає відсутність стабілізаторів структури та емульгаторів, швидко набирає популярності у світі протягом останнього десятиліття (Kumari, Solanki, & Sudhakaran, 2020).

Однак, морозиво – це складна колоїдна система, текстура і стабільність якої залежить від різних чинників, в тому числі наявності стабілізаторів структури (білків і полісахаридів), які спроможні впливати на $t_{кр}$ та запобігати зростанню кристалів льоду під час низькотемпературного оброблення і тривалого зберігання (Syed, Anwar, Shukat, & Zahoor, 2018; Aliabbasi & Emam-Djomeh, 2024).

Відомо, що фізико-хімічні властивості морозива обумовлюють його термодинамічну стабільність (Markowska, Tyfa, Drabent, & Stepniak, 2023). Явище рекристалізації, яке відбувається під час зберігання морозива за низьких температур, призводить до поступового збільшення середнього розміру кристалів льоду та відповідного зниження якості продукту (Sharqawy & Goff, 2022). З метою обмеження надмірного росту кристалів льоду у різних видах морозива застосовують білки (Lomolino, Zannoni, Zabara, Da Lio, & De Iseppi, 2020; Liu, Liu, Liu, Kan, & Wang, 2021), полісахариди (Kot, Jakubczyk, Kamińska-Dwórznicza, 2023) або їх суміші (Yan et al., 2021), композиції моно- та дисахаридів (Tvorogova, Landikhovskaya, Kazakova, Zakirova, & Pivtsaeva, 2021; Landikhovskaya, Tvorogova, Kazakova, & Gursky, 2020). Полісахариди вважаються комерційно доступними та апробованими з точки зору кріозахисту у продуктах харчування (Sun, Wu, Song, & Chen, 2022). Найбільш дослідженими у технології морозива можна вважати функції карагенанів (Xu et al., 2024; Míšková et al., 2021; Kamińska-Dwórznicza, Janczewska-Dupczyk, Kot, Łaba, & Samborska, 2020). Однак, зростає інтерес й до інших представників полісахаридів.

Стрімко набувають поширення до застосування у харчовій промисловості β -глюкани, що є полісахаридами, які природним чином містяться в клітинних

стінках злаків, бактерій та грибів (Mykhalevych, Polishchuk, Nassar, Osmak, & Buniowska-Olejnik, 2022). Кількість β -глюкану, що може бути отримана з природніх джерел, залежить від якості процесу очищення, технології та умов вирощування (для зернових культур, що містять β -глюкан), а також від самого джерела походження. Систематизовані дані щодо діапазонів вмісту β -глюкану у основних джерелах його походження наведено у табл. 1.8.

Таблиця 1.8 – Вміст β -глюкану у різних джерелах походження

Назва джерела	Вміст β -глюкану, %	Джерело інформації
Зернові культури		
Овес	4,–5,5	(Ragae, Campbell, Scoles, McLeod, & Tyler, 2001; Anttila, Sontag-Strohm, & Salovaara, 2004)
Ячмінь культивованій	4,0–6,0	(Nishantha et al., 2018; Henry, 1986)
Жито	1,0–2,5	(Henrion, Francey, Lê, & Lamothe, 2019; Rakha, Aman, & Andersson, 2011)
Пшениця	< 1,0	(Kaur, Sharma, Ji, Xu, & Agyei, 2019; Colasuonno et al., 2020)
Рис	0,4–0,9	(Phuwadolpaisarn, 2021; Demirbas, 2005; Jung et al., 2017)
Сорго	0,07–0,2	(Niba & Hoffman, 2003)
Бактерії		
<i>Agrobacterium sp. ZX09</i> (Salecan®)	> 90,0	(Luo et al., 2019)
<i>Paenibacillus polymyxa</i>	1,06	(Aboushanab, Vyrova, Selezneva, & Ibrahim, 2019)
Молочнокислі бактерії	1,9–14,9	(Sekar, Kim, Jeong, & Kim, 2018)
Фунгі		
<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	55,0–65,0	(Aboushanab, Vyrova, Selezneva, & Ibrahim, 2019; Klis, Mol, Hellingwerf, & Brul, 2002)
<i>Sparassis crispa</i>	43,6	(Park, Shim, Choi, & Park, 2009)
<i>Gyrophora esculenta</i>	22,7	(Ubiparip, De Doncker, Beerens, Franceus, & Desmet, 2021)
<i>Ganoderma lucidum</i>	45,1	(McCleary & Draga, 2016; Fesel & Zuccaro, 2016)
<i>Aspergillus niger mycelium</i>	50,9	

Продовження табл. 1.8

Мікрободорості		
<i>Durvillaea antarctica</i>	5,0–33,0	(Bobadilla, Rodriguez-Tirado, Imarai, Galotto, & Andersson, 2013)
<i>Euglena</i>	20,0–70,0	(Iida et al., 2021)
<i>Scenedesmus obtusiusculus</i> <i>A 189</i>	6,4–19,5	(Schulze et al., 2016)

Особливості хімічної будови β -глюканів зумовлюють їх функціональні та технологічні властивості. Просторова будова β -глюканів різних видів проілюстрована на рис. 1.7 (de Graaff, Govers, Wichers, & Debets, 2018; Du, Meenu, Liu, & Xu, 2019).

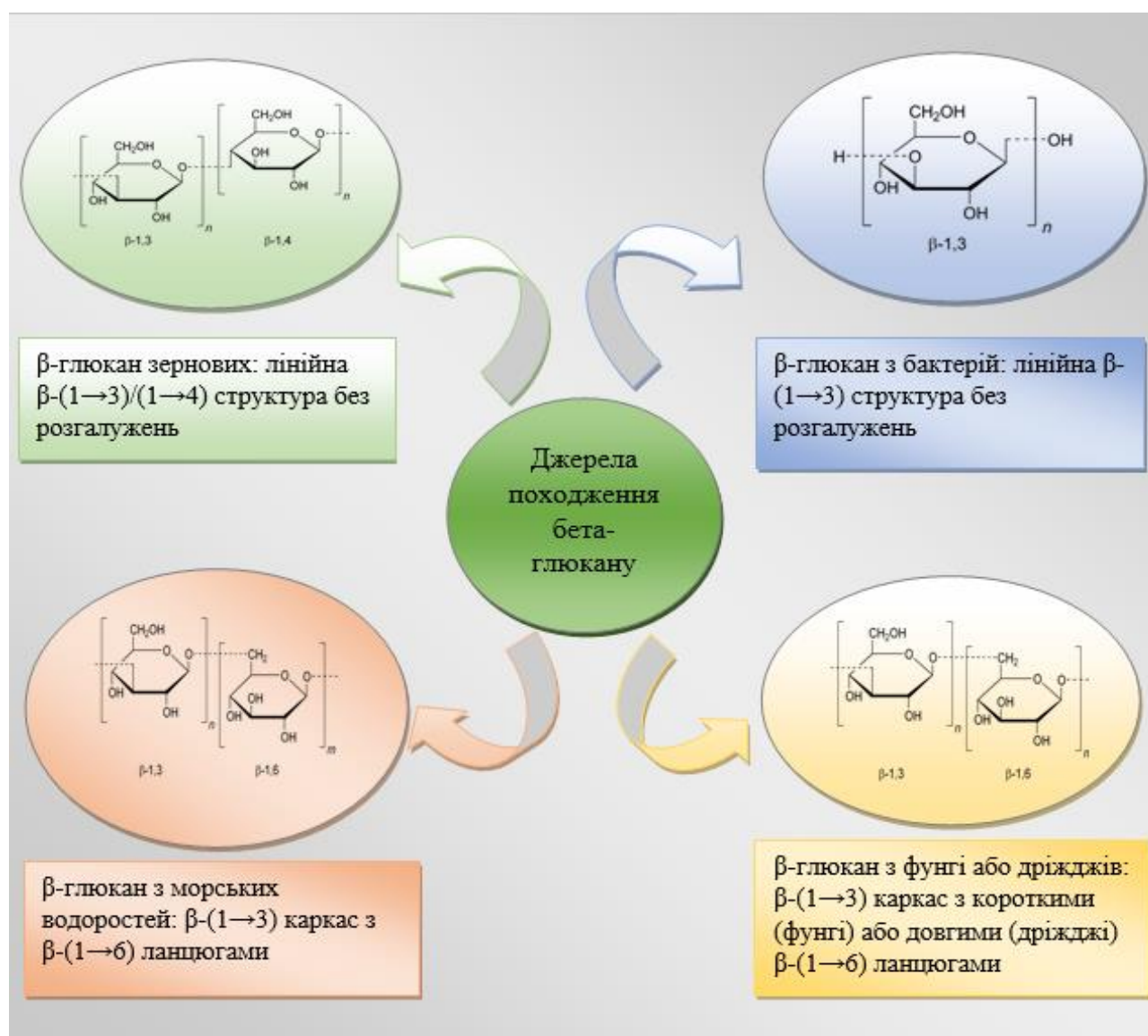


Рисунок 1.7 – Хімічна будова β -глюкану в залежності від джерела походження

β -глюкани із зернових представляють собою нерозгалуджений полісахарид, утворений із залишків глікопіранозних залишків, що сполучені β -(1 \rightarrow 4) зв'язками та ізольованими β -(1 \rightarrow 3) зв'язками (Synytsya & Novak, 2014). Основним структурним фрагментом є цепіцеллотріози, з'єднані одиночними β -(1 \rightarrow 3) зв'язками (Legentil et al., 2015). Основний ланцюг β -глюкану, таким чином, нагадує структуру целюлози, але містить перегин у положенні β -(1 \rightarrow 3) зв'язування, внаслідок чого відбувається руйнування міцних водневих зв'язків, які зазвичай присутні в целюлозі (Miyoshi, Uezu, Sakurai, & Shinkai, 2008). Бактеріальні β -глюкани мають пряму та нерозгалужену β -(1 \rightarrow 3)-D-глюканову структуру, а от β -глюкани, джерелом походження яких є морські водорості, можуть містити прямолінійний ланцюг з β -(1 \rightarrow 3) залишків, або прямолінійний ланцюг із β -(1 \rightarrow 6) зв'язаними глюкозильними бічними гілками (Suzuki et al., 2021; Miyamoto et al., 2018). β -глюкани дріжджів (БГД) представлені комплексом лінійних β -(1 \rightarrow 3) ланцюгів із залишковими прямими ланцюгами, що з'єднані з ними довгими розгалуженнями, приєднаними через β -(1 \rightarrow 6) зв'язки (Suzuki et al., 2021). β -глюкани, джерелом походження яких є фунгі, містять β -(1 \rightarrow 6) зв'язані ланцюги, що відходять від β -(1 \rightarrow 3) скелета.

Наразі β -глюкани не отримали широкого застосування в харчовій галузі (Khanjani, Sharifinia, & Ghaedi, 2022), що пов'язано з недостатньою обізнаністю виробників щодо його функціонально-технологічних властивостей (рис. 1.8).

В більшості фахівців β -глюкан асоціюється з біологічно активною добавкою, яку використовують у терапевтичних цілях або у складі різних дієт для людей із захворюваннями на діабет, ожиріння, серцево-судинну систему. І це не дивно, адже кількість клінічних досліджень щодо хімічного складу β -глюкану та його здатності впливати на роботу організм людини (рис. 1.9) значно більша аніж його практичні приклади застосування у технології харчових продуктів (Zou, Liao, Huang, Li, & Chi, 2015).



Рисунок 1.8 – Технологічні властивості β-глюкану різних видів



Рисунок 1.9 – Функціональні властивості β-глюкану різних видів

Найбільше досліджень із застосування β-глюкану проведено у галузі виробництва хліба та хлібобулочних виробів (Andrzej, Małgorzata, Sabina,

Horbańczuk, & Rodak, 2020). Що стосується виробництва морозива, то відомі приклади застосування β -глюканів зернових з вівса (БГВ) та ячменю, що забезпечують підвищення в'язкості сумішей морозива, збільшують опір до танення та обмежують ріст кристалів льоду (Aljewicz, Florczuk, & Dabrowska, 2020; Buniowska-Olejnik et al., 2023; Shibani, Asadollahi, & Eshaghi, 2021). Однак, їх використання у технології морозива сироваткового, раніше не досліджувалося.

БГВ за своїми технологічними та функціональними властивостями схожий на гуарову камедь (Aljewicz, Majcher, & Nalera, 2020), що дозволяє застосовувати його у рецептурному складі морозива не тільки в якості міметика молочного жиру, але й як часткову або повну заміну стабілізатора.

Вчені неодноразово вказували на здатність полісахаридів ефективно імітувати відсутність жиру, а їх поєднання з білковими інгредієнтами з можливою подальшою спеціальною обробкою призводить до утворення ефективних замінників молочного жиру (Bealer et al., 2020).

Aljewicz, Florczuk та Dabrowska (2020) досліджували можливість зниження масової частки жиру у класичному морозиві з 10 до 2,5% за рахунок використання високоочищеного БГВ. Доведено, що його масова частка на рівні 1% забезпечує отримання продукту максимально наближеного за органолептичними показниками до контрольного зразку з високим вмістом жиру (Aljewicz, Florczuk, & Dabrowska, 2020). Однак, БГВ суттєво підвищує в'язкість сумішей морозива та твердість готового продукту, що може погіршувати аерацію сумішей морозива повітрям під час фризеравання. Ймовірно, це пов'язано з тим, що БГВ має високу вологозв'язувальну, водо- та жирутримувальну здатності, які сприяють структуроутворенню сумішей з набуттям високої в'язкості, що погіршує рівномірний розподіл повітряної фази у товщі продукту (El Khoury, Cuda, Luhovyy, & Anderson, 2012 Fan, Zhou, & Cao, 2020).

На думку деяких вчених застосування β -глюкану зернових у кількості менше ніж 0,5 % у технології морозива загалом може не бути виправданим через те, що така доза не дасть змоги досягнути технологічного ефекту. Так, вчені повідомляли, що 0,4 % β -глюкану ячменю у виробництві морозива на основі

буйволячого молока з масовою часткою жиру 4,17 % не тільки не дає отримати запланованого результату, але й знижує загальну якість, зокрема через незадовільну текстуру продукту, що обумовлює необхідність пошуку іншої раціональної дози (Abdel-Haleem & Awad, 2015; Abdullah et al., 2003). Також встановлено, що масова частка БГВ на рівні 0,6 % є найбільш прийнятною серед діапазону 0,1–0,6 % для застосування у нежирному морозиві, яка забезпечує отримання морозива з насиченим молочним смаком за рахунок підвищення в'язкості, що попереджує ваду водянистого та пустого смаку (Shibani et al., 2021).

Rezaei, Khomeiri, Kashaninejad, Mazaheri-Tehrani та Aalami (2019) повідомляли, що БГВ здатен регулювати текстурні властивості замороженого соєвого йогурту за рахунок підвищення в'язкості. Внесення β -глюкану у кількості до 1–2 % дозволяє скоротити тривалість визрівання з 24 до 13 год (за температури 2 °C), що забезпечує високу в'язкість та помірну твердість продукту після фризрування.

У дослідженні інших науковців було виявлено, що β -глюкан вівса на рівні 0.75–0.1 % сприяє структуруванню сумішей низькожирного молочно-овочевого морозива. Ймовірним обґрунтуванням цього ефекту може бути збільшення низькоенергетичних зв'язків між функціональними групами макромолекул даного полісахариду (Sapiga, Polischuk, Buniowska, Shevchenko, & Osmak, 2021). Більша чисельність ділянок послідовних целлотріозних одиниць, які «зшивають» макромолекули β -глюкану у матрицю гелю (Du, Meenu, & Liu, 2019), збільшує тиксотропність харчових систем та забезпечує утворення пластичної текстури морозива. Як наслідок, це виявляє прямий вплив на структурні елементи повітряної фази морозива, забезпечуючи утворення додаткового каркасу з мікробульбашок повітря, який обгортає більш крупні повітряні включення. Burkus та Temelli (2000) також повідомляли про піноутворювальну здатність β -глюкану, що може призводити до утворення складної пінної структури в харчових системах.

Як і у випадку застосування β -глюкану зернових, β -глюкан бактеріального походження також призводить до збільшення опору до танення, що, ймовірно,

пов'язано з утворенням стабільної полісахаридної матриці, всередині якої молекули утримують вільну вологу. Однак, Aljewicz, Florczuk та Dabrowska (2020) повідомляли, що масова частка β -глюкану, виділеного з *Agrobacterium sp.* на рівні 1% забезпечує таке ж значення опору до танення як 0,5% високочищеного β -глюкану вівса, що дає змогу зробити припущення про менш виражену здатність бактеріального β -глюкану утримувати вільну вологу. Це може бути перевагою, тому що отримане морозиво буде менш твердим, аніж при застосуванні β -глюканів зернових, що не є властивим для таких продуктів. За суттєвого зниження масової частки жиру у морозиві β -глюкан з *Agrobacterium sp.* не здатен повністю маскувати його відсутність. Для виробництва сироваткового морозива, що є нежирним, відсутність можливості імітувати смак повножирового аналога є перепоною для використання β -глюкану з бактерій.

β -глюкани з мікродоростей *Nannochloropsis oculata*, *Diacronema vlkianum* і *Porphyridium cruentum* в технології харчових продуктів використовують в якості стабілізаторів, гідроколоїдів та барвників. Відомо, що вони мають доволі високий вміст вуглеводів, з яких від 14–21 до 40 % є β -глюкани, а також білкових речовин (Casas-Arrojo et al., 2021; Rojo-Cebreros et al., 2017). Відомо про використання порошку з мікродоростей *Nannochloropsis oculata*, *Porphyridium cruentum* і *Diacronema vlkianum* у рецептурному складі морозива у кількості від 0,1 до 0,3 % (Durmaz et al., 2020). Було відмічено, що вони є натуральними барвниками, що забезпечують отримання морозива з привабливим кольором, а також підвищують вміст біологічних речовин, зокрема фенольних сполук, у готовому продукті.

Такі добавки в основному спрямовані на виготовлення продукту з оригінальним кольором, смаком та для надання йому статусу функціонального за рахунок збагачення біоактивними сполуками (Sun, Wang, Guo, Pu, & Yan, 2014). Задля досягнення вираженого технологічного ефекту, наприклад, покращення реологічних характеристик, доцільно комбінувати їх з іншими полісахаридами або підбирати добавки з вираженими функціонально-технологічними властивостями (Wong, Hong, Foo, Yap, & Tan, 2022).

Не менш цікавим може бути дослідження впливу БГД на динаміку льодоутворення у морозиві. В більшості праць мова йде про такі біологічні функції БГД, як підвищення імунітету, антиоксидантна здатність та інгібування росту патогенної мікрофлори (Şengül & Ufuk, 2022). Tomczyńska-Mleko et al. (2024) повідомляли про синергічний ефект, що був виявлений між БГД і κ-карагенаном зі стабілізаційної системи, що призводить до утворення стабільної сітки гелю у сироваткових сумішах. Однак, дані щодо здатності БГД забезпечувати стабільність морозива під час зберігання, відсутні.

Варто звернути увагу і на певні протиріччя щодо пояснення механізмів дії полісахаридів (Sun et al., 2024). В цілому вплив харчових гідролоїдів на процеси рекристалізації вільної води у морозиві залежить від компонентного складу сумішей, технологічного оброблення, ступеня очищення та масової частки.

Таким чином, БГВ та БГД за рахунок відомих функціонально-технологічних властивостей представляють інтерес для дослідження їх функцій у складі морозива. Можливість заміни стабілізаційних систем, які містять гідролоїди та хімічно модифіковані емульгатори, на натуральні поліфункціональні інгредієнти, що спроможні виявляти піноутворювальну, емульгувальну і стабілізувальну здатності та позитивно впливати на фізико-хімічні характеристики морозива, в тому числі на динаміку льодоутворення під час зберігання, є актуальним напрямком дослідження.

Висновки до розділу 1

1. Виробництво морозива сироваткового на світовому та вітчизняному ринках є вкрай обмеженим, в тому числі на ферментованій сироватковій основі, що пов'язано із особливостями хімічного складу та умовами виготовлення даного продукту і призводить до виникнення вад якості, зокрема під час зберігання.

2. Розробка технології ацидофільно-сироваткового морозива потребує вирішення комплексу завдань, що пов'язані із необхідністю суттєвого

коригування хімічного складу морозива за масовою часткою сухих речовин, зокрема білка та цукру, з метою попередження виникнення типових вад якості.

3. Використання відновлених концентратів демінералізованої сироватки є доцільним для приведення масової частки сухих речовин, зокрема білка, у морозиві до рівня повножирових аналогів.

4. Рідкі концентрати сироватки доцільно піддавати гідролізу з метою суттєвого зниження вмісту молочного цукру для попередження надлишкової кристалізації лактози під час зберігання морозива. Одночасне застосування ЗП та ФП може інтенсифікувати даний процес та дозволить знизити масову частку сахарози у морозиві за рахунок наявності моносахаридів.

5. Додаткове збагачення морозива білками поліпшить реологічні та фізико-хімічні характеристики морозива та підвищить його харчову цінність.

6. Заміна стабілізаційної системи на β -глюкани вівса та дріжджів може сповільнити процес рекристалізації вільної води у морозиві під час зберігання, імітувати у нежирному морозиві присутність молочного жиру та дозволить отримати готовий продукт з «чистою етикеткою».

7. Аналіз науково-технічної інформації за темою дисертаційної роботи підтвердив актуальність обраного напрямку наукового дослідження і дозволив сформулювати мету і задачі дослідження.

РОЗДІЛ 2. МАТЕРІАЛИ ТА МЕТОДИ

2.1. Організація проведення експерименту

На першому етапі наукової роботи проведено аналітичне дослідження щодо стану та перспектив розвитку технологічних інновацій у виробництві морозива ацидофільно-сироваткового, сформульовано мету, завдання, обрано об'єкт та предмет дослідження, а також методи дослідження.

Експериментальний етап роботи включав виконання наступних завдань:

- обґрунтувати режими ферментації лактози у рідких концентратах демінералізованої сироватки шляхом вивчення дії гідролізуючих препаратів за їх різного сполучення;
- оптимізувати ступінь заміни цукру у морозиві за використання в якості основи рідких гідролізованих концентратів сироватки;
- дослідити можливість підвищення масової частки білку в морозиві сироватковому та обрати білоквмісний інгредієнт, що покращує якісні показники продукту;
- визначити стан води у сумішах із β -глюканами різного походження та їх вплив на процес рекристалізації під час зберігання морозива;
- розробити рецептури морозива ацидофільно-сироваткового, збагаченого білком;
- уточнити параметри окремих технологічних операцій, що можуть впливати на якість морозива та дослідити показники нових видів морозива, у тому числі впродовж зберігання;
- розробити технологічні схеми виробництва та нормативну документацію на новий продукт, провести промислову апробацію та визначити очікуваний соціальний та економічний ефект від впровадження наукової розробки.

Схему виконання етапів наукової роботи наведено на рис. 2.1.

Аналітичний етап

Аналіз світової практики щодо виробництва морозива сироваткового

Доцільність ферментування суміші для морозива

Рідкі концентрати сироватки в якості основи для морозива

Вплив лактози на якісні показники морозива

Способи зниження вмісту лактози у морозиві

Молочно-білкові концентрати

Рослинні білки

β -глюкани злакових

β -глюкани дріжджів

β -глюкани бактерій та фунгі

Гідроліз лактози у відновлених концентратах сироватки

Додаткове збагачення морозива білковими інгредієнтами

Заміна стабілізуючих речовин у морозиві на β -глюкани

Формування мети, завдань, предмету та об'єкту дослідження, обґрунтування методів дослідження

Експериментальний етап

Наукове обґрунтування режимів ферментації лактози у концентратах сироватки

Наукове обґрунтування рецептурного складу морозива ацидофільно-сироваткового

Стан води у сумішах та морозиві зі стабілізуючими інгредієнтами

Вивчення активності ферментного препарату за змінних умов гідролізу

Комбінація різних препаратів для гідролізу лактози

Стан водної фази та аналіз хімічного складу

Розробка базових рецептур морозива на основі рідких концентратів сироватки

Вивчення можливості збагачення морозива білковими інгредієнтами

Вплив ізоляту сироваткових білків на показники якості морозива

Кріоскопічна температура і вміст вимороженої води

Дослідження процесу рекристалізації вільної води

Вплив β -глюканів на текстуру та структурні елементи морозива

Розробка технології морозива ацидофільно-сироваткового

Уточнення параметрів окремих технологічних операцій під час виробництва морозива

Розробка графічної блок-схеми та апаратурно-технологічної схеми виробництва морозива

Дослідження якісних показників розроблених складів морозива ацидофільно-сироваткового

Фізико-хімічні показники

Органолептична оцінка та біологічна цінність

Мікробіологічні показники

Промислова апробація. Очікуваний соціально-економічний ефект від впровадження розробки

Рисунок 2.1 – Схема виконання етапів наукової роботи

2.2. Матеріальне забезпечення

2.2.1. Основна та допоміжна сировина, матеріали

Для виготовлення досліджуваних зразків рідких концентратів сироватки з масовою часткою сухих речовин 10–40% використовували:

– суху демінералізовану підсирну сироватку зі ступенем демінералізації 90% (АТ «Молочний альянс», Україна), виготовлену відповідно до технічних умов виробника з такими фізико-хімічними показниками:

– Вологість, % - 3,0;

– Жир, % - 1,0;

– Білок, % - 10,0;

– Лактоза, % - 80;

– Зола, % - 1,0.

– препарат β -D-галактозидаза-гідролаза (лактаза) ТМ «GODO-YNL2» (Danisko, Данія) відповідно до чинних нормативних документів виробника, що дозволений до застосування центральним органом виконавчої влади у сфері охорони здоров'я на використання в даній галузі;

– заквашувальний препарат «*L. acidophilus* LYO 50 DCU-S» (Danisko, Данія) відповідно до нормативної документації виробника, що дозволений до застосування центральним органом виконавчої влади у сфері охорони здоров'я на використання в даній галузі;

– рідкі концентрати демінералізованої сироватки зі ступенем демінералізації 90% (ТУ У 10.5-02070938-333:2024 «Рідкі гідролізовані концентрати демінералізованої сироватки») виготовлені відновленням сухої демінералізованої сироватки у воді питній до концентрації від 10 до 40%;

– активовану закваску, приготовлену в лабораторних умовах із використанням ультрапастеризованого знежиреного молока та заквашувального препарату «*L. acidophilus* LYO 50 DCU-S» (Danisko, Данія);

– ізолят соєвого білка 90% (ISOPRO 900EM-UPI, Китай) відповідно до нормативної документації виробника, що дозволений до застосування

центральним органом виконавчої влади у сфері охорони здоров'я на використання в даній галузі;

- концентрат сироваткового білка 70% (Гадячсир, Україна) відповідно до нормативної документації виробника;
- концентрат міцелярного казеїну 85% (Ingredia Promilk, Франція) відповідно до нормативної документації виробника;
- ізолят сироваткового білка 90% (SPOMLEK, Радинь-Підляський, Польща) відповідно до нормативної документації виробника;
- стабілізаційну систему Cremodan SI 320 (Danisco A/S, Брабранд, Данія), що складається з моно– та дигліцеридів жирних кислот (E471), целюлозної камеді (E466), гуарової камеді (E412), каррагінану (E407);
- високорозчинний β -глюкан (1–3, 1–4), екстрагований із вівса, зі ступенем очищення 72% (Grupa Feniks 2050, Цмелюв, Польща) відповідно до нормативної документації виробника;
- β -глюкан з дріжджів *Saccharomyces cerevisiae* зі ступенем очищення 70% (GOLDCELL, Biorigin, Сан-Паулу, Бразилія) відповідно до нормативної документації виробника;
- цукор білий кристалічний відповідно до ДСТУ 4623:2023;
- ванілін відповідно до технічних умов виробника;
- харчосмакові наповнювачі: арахіс відповідно до ДСТУ 4504:2005, мак відповідно до ДСТУ 7696:2015, цукати відповідно до ДСТУ 6075:2009, мед відповідно до ДСТУ 4497:2005, карамель відповідно до ДСТУ 3893:2016, сухофрукти відповідно до ДСТУ 8471:2015.
- воду питну відповідно до ДСТУ 7525:2014 та ДСанПіН 2.2.4-171-10.

2.2.2. Лабораторне і напівпромислове обладнання

Гомогенізацію сумішей сироваткового морозива проводили за допомогою лабораторного гомогенізатора-диспергатора «Lab Homogenizer & Sub-Micron Disperser» моделі 15M-8TA (GAULIN CORPORATION, Massachusetts, USA). Відповідно до заявлених виробником технічних характеристик максимально

можлива потужність обладнання становить $57 \text{ дм}^3 / \text{год}$; мінімальний об'єм зразка – 200 см^3 ; максимальний тиск – 25 МПа .

М'яке сироваткове морозиво виготовляли за допомогою напівпромислового фризера періодичної дії «Ельбрус-400» моделі ФПМ-3,5/380–50 (АТ «РОСС», м. Харків, Україна).

Об'єм разової заливки суміші морозива сироваткового у шнекову камеру під час досліджень складав 4 л . Частота обертів мішалки з лопастями на першій стадії (охолодження) складав 270 хв^{-1} , а на другій (фризерування) – 540 хв^{-1} . Температура сумішей морозива на вході у фризер становила $4 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, а для м'якого морозива на виході із фризера складала мінус $5 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$.

Загартування та подальше зберігання зразків морозива проводили у морозильній камері "Caravell" A/S (Løgstrup, Данія) за температури мінус $20 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$.

2.2.3. Підготовка контрольних та дослідних зразків

Для одержання рідких концентратів з масовою часткою сухих речовин від 10 до 40% суху демінералізовану сироватку відновлювали у питній воді за температури $40\text{--}45 \text{ }^\circ\text{C}$. Концентрати фільтрували, пастеризували за температури $74\text{--}76 \text{ }^\circ\text{C}$ впродовж $3\text{--}5 \text{ хв}$ та охолоджували до температури $2\text{--}6 \text{ }^\circ\text{C}$. Для виробництва гідролізованих концентратів пастеризовані суміші охолоджували до температури $40\text{--}43 \text{ }^\circ\text{C}$ і ферментували препаратом GODO-YNL2 та закваскою на основі ЗП «*L. Acidophilus LYO 50 DCU-S*» за різного сполучення. Інактивація ферменту проводили за температури $63\text{--}67 \text{ }^\circ\text{C}$ протягом $1\text{--}2 \text{ хв}$ з наступним охолодженням до температури $2\text{--}6 \text{ }^\circ\text{C}$.

Для отримання сумішей та морозива сухі компоненти відповідно до рецептури змішували та додавали до води, попередньо нагрітої до температури $40\text{--}45 \text{ }^\circ\text{C}$. Суміші перемішували та додавали до них рідкі сироваткові концентрати. Отримані суміші фільтрували, пастеризували за температури $83\text{--}87 \text{ }^\circ\text{C}$ протягом 5 хв та гомогенізували за тиску $12,0 \pm 2,5 \text{ Мпа}$ за допомогою лабораторного гомогенізатора-диспергатора 15М-8ТА «Lab Homogenizer & Sub-

Micron Disperser» (GAULIN CORPORATION, Массачусетс, США). Гомогенізовані суміші охолоджували до температури інокуляції (38–42 °С) і додавали ЗП, що був попередньо активований в ультрапастеризованому знежиреному молоці за температури 38–42 °С до моменту досягнення рН 5,4–5,2. Процес сквашування сумішей проводили до моменту досягнення рН 5,25–5,1 з подальшим охолодженням до температури 2–6 °С і дозріванням протягом 12 год.

Для отримання морозива суміші після визрівання фризували за допомогою фризера періодичної дії ФПМ-3.5/380-50 (Ельбрус-400, Харків, Україна). На першому етапі фризрування суміш охолоджували в охолоджувальному циліндрі (об'єм – 7 л) до температури –1 °С при частоті обертання скребкової мішалки 4,5 с⁻¹ протягом 120 с. На другому етапі суміш заморожували при частоті обертання 9 с⁻¹ протягом 180 с до температури –5,0±0,5 °С.

2.3. Методи дослідження

2.3.1. Загальновідомі методи аналізування

Відбір та підготовку проб здійснювали відповідно до ДСТУ ISO 707; вимірювання температури – відповідно до ДСТУ 8686.2; масову частку сухих речовин – арбітражним методом відповідно до ДСТУ ISO 3728:2005; масову частку білка – методом К'ельдаля відповідно до ДСТУ 8063; масову частку жиру – методом Гербера відповідно до ДСТУ ISO 488; масову частку загальних вуглеводів – методом Бертрана відповідно до ГОСТ 3628; активну кислотність – потенціометричним методом відповідно до ДСТУ 8550.

Відбір і підготовку зразків для мікробіологічного дослідження проводили відповідно до ДСТУ 8051, визначення бактерій групи кишкових паличок – за ДСТУ 7357, дріжджів та пліснявих грибів – за ДСТУ 8447.

2.3.2. Спеціальні та модифіковані методи аналізування

Масову частку вуглеводів (лактоза, глюкоза та галактоза) у рідких концентратах сироватки (ферментованих та неферментованих) та морозиві

визначали методом високоефективної рідинної хроматографії на хроматографі моделі LC-6A («Shimadzu», Японія) з рефрактометричним детектором, колонка SCR-101-N (250 x 4,7 мм). В якості елюенту використовувалася деіонізована дегазована вода, швидкість потоку становила 0,5 мл/хв.

Ступінь гідролізу виражали у відсотках, відповідно до вмісту лактози у ферментованих зразках відносно її початкового вмісту (Livney, Donhowe, & Hartel, 2007):

Ступінь солодкості рідких концентратів сироватки розраховували залежно від масової частки сухих речовин і ступеня гідролізу лактози в цих концентратах. Відносну солодкість негідролізованого концентрату і концентратів зі ступенем гідролізу лактози 85%, 90% і 95% розраховували за їх хімічним складом (вмістом моносахаридів і дисахаридів) з урахуванням відомих значень відносної солодкості цукру (1), лактози (0,16), глюкози (0,73) і галактози (0,32).

Пінозбитість сумішей морозива визначали шляхом їх збивання за допомогою міксеру зі спеціальною насадкою протягом 5, 10 та 15 хв з перервами у 5 хв за методом Lim, Swanson та Clark (2008). Пінозбитість визначали як відношення об'єму збитої суміші до її початкового об'єму, виражене у відсотках.

Піностійкість сумішей морозива визначали за модифікованим методом Philips L., згідно з яким використовували ємність з отвором знизу для стікання піни після збивання (Lim, Swanson, & Clark, 2008). За показник піностійкості приймали час, впродовж якого в результаті руйнування піни утворюється 50% первинного об'єму суміші, який було використано для збивання.

В'язкісні характеристики сумішей морозива з білковими добавками визначали на ротаційному віскозиметрі «Реотест II» з вимірювальною системою типу «циліндр–циліндр» шляхом зчитування даних щодо кінетики деформації. Визначення напруги зсуву τ (Па) проводили за дванадцятьма значень градієнта швидкості зсуву D в діапазоні від 3 до 1312,2 s^{-1} при прямому та зворотному ході (Bass, Polischuk, & Goncharuk, 2017). Спочатку проводили фіксацію максимальної ефективною в'язкості незруйнованої структури харчової системи ($\gamma = 3 s^{-1}$), далі мінімальною ефективною в'язкості гранично зруйнованої структури ($\gamma = 1312,2 s^{-1}$),

а також ефективної в'язкості відновленої структури ($\gamma = 3 \text{ c}^{-1}$). Тиксотропність (%) сумішей морозива визначали за різницею значень ефективної в'язкості практично незруйнованої структури на початку та в кінці вимірювання за градієнта швидкості зсуву ($\gamma = 3 \text{ c}^{-1}$) (Sapiga, Polischuk, Buniowska, Shevchenko, & Osmak, 2021). Дослідження проводили за температури навколишнього середовища $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

В'язкість сумішей морозива з ізолятом сироваткових білків та β -глюканами визначали за допомогою віскозиметра ІКА ROTAVISC 10-vi Complete (ІКА, Штауфен, Німеччина). Для вимірювання використовували шпindel SP-4, який занурювали в підготовлений зразок при $18 \pm 1 \text{ }^\circ\text{C}$ і швидкості зсуву 200 об/хв . Значення в'язкості зчитувалися через 2 хв (Nazarewicz et al., 2022). Модель степеневого закону була використана для визначення індексу поведінки течії (n) та коефіцієнта консистенції (K). Індекс поведінки течії показує, наскільки суміш близька до ньютонівської. Коефіцієнт консистенції дає уявлення про властивості течії суміші (Muse & Hartel, 2004).

Параметри кольору сумішей та морозива визначали за допомогою колориметра (Precision Colorimeter, Model NR 145, Шеньчжень, Китай) з використанням системи CIE LAB. Були визначали наступні параметри: L^* – як білизна (від 0 – чорний до 100 – білий), a^* – як колір від червоного (+) до зеленого (–), b^* – як колір від жовтого (+) до синього (–), C^* – як чистота та інтенсивність кольору від сірого кольору ($C^* = 0$) до напрямку чистих кольорів ($C^* = 100$), а h° – як відтінок кольору (в межах $0\text{--}360^\circ$). Перед вимірюванням прилад був відкалібрований за еталоном білого кольору.

Активність води визначали на автоматичному аналізаторі «HygroLab 2» (Rotronic, Швейцарія) за температури 20°C в діапазоні $0\text{--}1 \text{ Aw}$ ($0\text{--}100\% \text{ rh}$). Прилад попередньо калібруванням за спеціальним стандартом вологості ($95\% \text{ HR}$).

Кріоскопічну температуру вимірювали за допомогою осмометра Marcel osm 3000 (Marcel, Вальденбург, Польща) з точністю до $0,002 \text{ }^\circ\text{C}$.

На основі закону Рауля для недисоційованих молекулярних розчинів кількість ω у модельних зразках морозива з сироватковим білком на різних

температурних стадіях була розрахована за формулою (Polischuk, Sharahmatova, Breus, Bass, & Shevchenko, 2019):

$$\omega = (1 - t_{кр}/t) \times 100 \quad (2.1)$$

де ω – масова частка вимороженої води, %; $t_{кр}$ – криоскопічна температура, °С; t – температура на кожному етапі технологічної обробки, °С.

На підставі закону Рауля для розведених недисоційованих молекулярних розчинів можна обрахувати кількість ω в залежності від температури. Однак, для продуктів з високою $t_{кр}$, використання закону Рауля не дає можливості отримання точних даних, а за $t_{кр}$ продукту \geq мінус 5°С – взагалі розрахувати її.

У продуктах з високою $t_{кр}$ збільшення кількості ω відбувається дуже швидко в зоні $t_{кр}$, а потім різко сповільнюється. Відомі способи розрахунку ω у харчових продуктах, які базуються як на теоретичних залежностях, так і на дослідницьких даних з використанням імперичних коефіцієнтів.

Для обрахунку вмісту вимороженої води (ω , %) на різних стадіях низькотемпературного технологічного оброблення модельних зразків морозива з ІСБ та β -глюканами було використано формулу Жадана (Dibirasulaev, Belozero, Dibirasulaev, & Orlovsky, 2016):

$$\omega = 1 - (1,12 - 0,05t)/t \quad (2.2)$$

де t – криоскопічна температура та температура технологічної обробки без знаку «-».

Відомо, що формула Жадана забезпечує високу точність отримання даних з можливою похибкою, яка не перевищує 2%, в той час як за використання інших залежностей допустима похибка може складати до 6–7% (Dibirasulaev, Belozero, Dibirasulaev, & Orlovsky, 2016).

Збитість морозива визначали ваговим методом за різницею маси зразків однакового об'єму суміші та морозива, що виражена у відсотках, та розраховували за формулою (Sofjan & Hartel, 2004):

$$O = (M_1 - M_2 / M_2) \times 100, \quad (2.3)$$

де M_1 – маса склянки із сумішшю перед фризруванням, г; M_2 – маса склянки з морозивом після фризрування, г.

Опір до танення (час витікання першої краплі та накопичення 10 см³) визначали у зразках загартованого морозива (35x50 мм), які поміщали на сітку ($d = 95$ мм, отвори 5x5 мм, товщина дроту 0,5 мм) і витримували за температури навколишнього середовища $20 \pm 2^\circ\text{C}$ (Goff & Hartel, 2013).

Швидкість танення визначали за методом Goff & Hartel (2013). Зразки морозива зберігали за температури $-22 \pm 1^\circ\text{C}$, відбирали та розміщували на спеціальній решітці для танення за температури навколишнього середовища $20 \pm 2^\circ\text{C}$. Масу отепленого морозива фіксували через одну годину кожні 10 хв протягом 2 год. Швидкість танення (М, %) розраховували за формулою:

$$R = (\text{маса морозива, що розтануло}) / (\text{маса морозива до танення}) \times 100 \quad (2.4)$$

Аналіз текстурного профілю. Параметри текстури морозива визначали за допомогою аналізатора текстури Brookfield СТ-3 (Middleboro, Массачусетс, США). Вимірювання проводили за допомогою програмного забезпечення Pro СТ V 1.6 (Brookfield Engineering Laboratories Inc., ABD, Middleboro, MA, США). Для аналізу використовували конічний зонд ТА27 (на перший день зберігання) та ТА 15/1000 (на 7-й день зберігання). Швидкість становила 2 мм/с, відстань 15 мм, навантаження на спусковий гачок 1,08 Н, довжина 40 мм і діаметр 60 мм.

Мікроструктуру морозива досліджували за допомогою мікроскопіювання. Для цього здійснювали відбір проб з центру зразка принаймні в трьох різних місцях і на відстані 3 см від поверхні продукту. Поміщали проби у камеру

Горяєва, покриту склом і негайно піддавали мікроскопії за збільшення у 160 разів. Дослідження виконували за температури середовища 20 ± 2 °C. За таких умов кристали льоду танули, а піна залишалася, оскільки оболонки бульбашок повітря не зневоднювалися. Мікрофотографії були отримані за допомогою світлового мікроскопа Olympus CX41 (Olympus Corporation, Токіо, Японія) та камери (Tvorogova, Gurskiy, Shobanova, & Smykov, 2023).

Аналіз кристалів льоду виконували методом мікроскопіювання. Зі зразків морозива відбирали проби, принаймні із 3-ох різних місць та на відстані 3 см від поверхні морозива. Відібрані проби морозива поміщали на предметне скло за допомогою шпателя та накривали покривним склом, яке розташовували на верхній частині зразка. Процес рекристалізації вільної води у морозиві досліджували шляхом фіксації зображень кристалів льоду за допомогою мікроскопу Olympus BX53 із системою охолодження Linkam LTS420 (діапазон температур вимірювання від -196 °C до -420 °C) та цифровою камерою Olympus SC50. Отримані зображення обробляли у програмному середовищі NIS Elements D (версія 5.30.00, Nikon, Токіо, Японія). Для кожного зразка було позначено від 300 до 500 кристалів та розраховано площу, еквівалентний діаметр і стандартне відхилення у програмі NIS Elements D Imaging (версія 5.30.00, Nikon). Метод висвітлений у працях, пов'язаних із дослідженням морозива (Kamińska-Dwórznička, Łaba, & Jakubczyk, 2022).

Мікробіологічний аналіз зразків морозива з ізолятом сироваткових білків виконували шляхом відбору 5 г кожного зразку з наступним розведенням в 45 см^3 фізіологічного розчину. Дослідження проводили за наступних умов: загальна кількість мікроорганізмів на PCA (Plate Count Agar, Oxoid, Бейсінгсток, Велика Британія) при 30 °C протягом 48–72 год, кількість бактерій кишкової кишки на агарі VRBL (Violet Red Bile agar з лактозою, Oxoid, Бейсінгсток, Велика Британія) при 37 °C протягом 24–48 годин, кількість бактерій ацидофільної палички на MRS (De Man Rogosa Sharpe, Oxoid, Бейсінгсток, Велика Британія), MSE (Maueux, Sandine & Elliker, Oxoid, Бейсінгсток, Велика Британія) аналізували при 37 °C протягом 48–72 год і мікроскопічні гриби та дріжджі на

MEA (агар з солодовим екстрактом, Oxoid, Basingstoke, Сполучене Королівство) при 25 °С протягом 5 днів. Для *Lactobacillus acidophilus* дослідження проводили пластинковим методом з MRS (Bioscop, Варшава, Польща). *Lactobacillus acidophilus* культивували в мікроаерофільних умовах з 5% CO₂ при 37 °С.

Органолептичну оцінку проводили експертною групою у складі 10 людей, що були відібрані з числа наукових, науково-педагогічних працівників і аспірантів кафедри технології молока і молочних продуктів НУХТ та попередньо підготовлені відповідно до вимог міжнародних стандартів ISO 6658:2017 та ISO 8586:2023. Відбір та підготовку проб до оцінювання проводили відповідно до вимог міжнародних стандартів ISO 13299:2016, ISO 22935-2 та ISO 22935-3. З метою забезпечення об'єктивності оцінювання зразки морозива були закодовані.

Оцінювання дослідних зразків морозива проводили в однаковому складі групи за методами, що були апробовані раніше для морозива ацидофільно-сироваткового (Михалевич, Поліщук, Осьмак, & Сапіга, 2022). Голова експертної групи на початку засідання видавав кожному експерту анкету органолептичного оцінювання, які в кінці були зібрані та статистично оброблені.

Дескрипторний метод сенсорного аналізу (Cherevychna & Naronceva, 2019; Shabanova, Tokhtieva, Tsugkueva, Doev, & Datieva, 2022), який застосовують для оцінювання вин та продуктів харчування з рослинної сировини, був модифікований для проведення експертної оцінки досліджуваних зразків морозива. Середньоарифметичне оцінок одиничних показників розраховували за формулою:

$$\bar{X} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n}}, \quad (2.5)$$

де $\sum_{i=1}^n x_i^2$ – сума оцінок експертів за кожним з п'яти критеріїв (смак та післясмак, запах, зовнішній вигляд, консистенція, колір) одного зразка морозива; n – кількість експертів.

Стандартне відхилення для кожного одиничного показника визначали за формулою:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n x_i^2}{n} - \bar{x}^2}, \quad (2.6)$$

де $\sum_{i=1}^n x_i^2$ – сума квадратів оцінок експертів, балів;

\bar{x}^2 – квадрат середнього значення оцінок показника, балів.

Комплексний показник Q розраховували за формулою:

$$Q = \sum_{i=1}^n \bar{x}_i, \quad (2.7)$$

де \bar{x}_i – середнє оцінка одиничного критерія якості, балів.

Коефіцієнт співпадіння розраховували за формулою:

$$W = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{i1} - x_{i2})^2}{n}, \quad (2.8)$$

де x_{i1} – значення оцінок якості серії зразків морозива на першому етапі оцінювання;

x_{i2} – значення оцінок якості серії зразків морозива на другому етапі оцінювання;

n – кількість експертів.

Інтегральне оцінювання проводили за 100-бальною шкалою, яка мала наступну градацію якості: 0–24 – надзвичайно низька, 25–39 – низька, 40–54 – нижче середнього, 55–69 – середня, 70–84 – вище середнього, 85–95 – висока, 96–100 – надзвичайно висока.

Кожен з п'яти критеріїв якості був градуїований за дескрипторами, що притаманні морозиву нежирному кисломолочному з урахуванням рекомендацій міжнародного стандарту ISO 13299:2016 та досвіду попередників, що займалися вивченням питання методів органолептичної оцінки морозива різних видів, зокрема з β -глюканом (Şimşek & Gün, 2021; Aljewicz, Florczuk, & Dąbrowska, 2020; . Shibani, Asadollahi, & Eshaghi, 2021; Сапіга, Михалевич, & Поліщук, 2021; Abdel-Haleem & Awad, 2015).

Для визначення БЦ проводили дослідження амінокислотного складу методом іонообмінної рідинно-колонкової хроматографії на автоматичному аналізаторі амінокислот Т339.

Отримані значення вмісту амінокислот у продукту використовували для обчислення амінокислотного скору, що є відношенням кількості незамінної амінокислоти продукту до вмісту відповідної незамінної амінокислоти «ідеального білка» за шкалою ФАО/ВОЗ:

$$AC = \text{НАК}_{\text{пр.}} / \text{НАК}_{\text{Іб.}} \quad (2.9)$$

де AC – амінокислотний скор, %;

НАК_{пр.} – вміст незамінної амінокислоти у продукті, г/1г білка;

НАК_{Іб.} – вміст незамінної амінокислоти «ідеального білка» за шкалою ФАО/ВОЗ, г/1г білка.

Коефіцієнт різниці амінокислотного скору (КРАС) та БЦ морозива ацидофільно-сироваткового розраховували за методикою М.П. Чернікова (Grek, Osmak, Chubenko, & Mykhalevych, 2018). КРАС розраховували за формулою:

$$\text{КРАС} = (\Sigma \Delta \text{РАС})/n, \quad (2.10)$$

де КРАС – коефіцієнт різниці амінокислотного скору, %;

РАС – різниця амінокислотного скору для кожної НАК у порівнянні з амінокислотним скором лімітуючої амінокислоти, %;

n – кількість амінокислот.

БЦ білка у морозиві ацидофільно-сироваткового була розрахована за формулою:

$$\text{БЦ} = 100 - \text{КРАС}. \quad (2.11)$$

Енергетичну цінність морозива розраховували шляхом множення масової частки білка, жиру та вуглеводів на загальновідомі коефіцієнти енергетичної цінності за наступною формулою:

$$\text{ЕЦ} = (\text{Б} \times 4) + (\text{Ж} \times 9) + (\text{В} \times 4), \quad (2.12)$$

де ЕЦ – енергетична цінність;

Б, Ж, В – масова частка білків, жирів та вуглеводів відповідно.

Рівень забезпечення білком (%) у готовому продукті розраховували як співвідношення масової частки білка до суми масових часток білка, жиру та вуглеводів, помножене на 100.

2.4. Алгоритм математичної та статистичної обробки отриманих результатів

Частотний розподіл розміру кристалів було розраховано за допомогою аналізу макроданих у програмному середовищі Microsoft Excel 2019. Відносна частота будь-якого інтервалу класу була розрахована як кількість кристалів у цьому класі (частота класу), поділена на загальну кількість кристалів і виражена у відсотках. Параметр X50 аналізували як середній діаметр (DA) для 50% кристалів у зразку.

Оптимізацію заміни цукру у морозиві на рідкі гідролізовані концентрати демінералізованої сироватки проводили із використанням методу математичного моделювання у програмного середовища MathCAD.

Побудову апаратурно-технологічної схеми виробництва морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного виконували за допомогою інженерної програми «Compas 3D V12».

Статистичну обробку проводили за допомогою програмного забезпечення STATISTICA 13. Значимість тесту була встановлена на рівні $\alpha = 0.05$. Дані виражені як середнє значення зі стандартними відхиленнями. Для забезпечення достовірності отриманих даних усі дослідження проводили 3–5 разів.

Висновки до розділу 2

Розроблено схему проведення дослідження за напрямком роботи, проведено підбір сировини та допоміжних інгредієнтів, стендового та напівпромислового обладнання для виробництва морозива. Обрано методи досліджень, здійснено їх категоризацію на загальновідомі та спеціальні, проведено опис методик дослідження, що забезпечить отримання коректних результатів

експериментальної частини. Також обрано відповідні математично-статистичні методи обробки отриманих даних з метою їх аналізу та перевірки достовірності.

РОЗДІЛ 3. НАУКОВЕ ОБГРУНТУВАННЯ РЕЖИМІВ ФЕРМЕНТАЦІЇ ЛАКТОЗИ В РІДКИХ КОНЦЕНТРАТАХ ДЕМІНЕРАЛІЗОВАНОЇ СИРОВАТКИ

3.1. Вивчення активності препаратів для ферментації за змінних умов гідролізу лактози у відновлених концентратах сироватки

На першому етапі дослідження було виготовлено рідкі сироваткові концентрати з масовою часткою сухих речовин від 10% до 40% (табл. 3.1) з розрахунку, що у подальшому їх внесення у морозиво суттєво підвищуватиме у готовому продукті вміст сухих речовин. Максимально допустима масова частка сухих речовин у концентратах була встановлена на рівні 40%, що обумовлюється необхідністю застосування у складі морозива концентрату з якомога більшим вмістом сухих речовин, але за умови збереження властивостей рідини. До того ж, проведення процесу гідролізу лактози за вищої концентрації сухих речовин буде ускладнено, як у разі використання ФП, так і ЗП.

Таблиця 3.1 – Хімічний склад та фізико-хімічні показники неферментованих рідких концентратів сироватки ($p \leq 0,05$, $n=3$)

Показник	Концентрат з м. ч. сух. реч., %			
	10	20	30	40
Загальна масова лактози, %	7,8±0,1	15,5±0,1	23,3±0,2	30,8±0,4
Активна кислотність, од. рН	0,985±0,006	0,980±0,002	0,974±0,001	0,966±0,001
Активність води, од.	6,6±0,1	6,5±0,1	6,2±0,1	6,1±0,1

З наведених даних (табл. 3.1) очевидним є доволі високий рівень лактози,

особливо для концентратів з масовою часткою сухих речовин 30–40 %, що потребує подальшого коригування вуглеводного складу даних харчових систем.

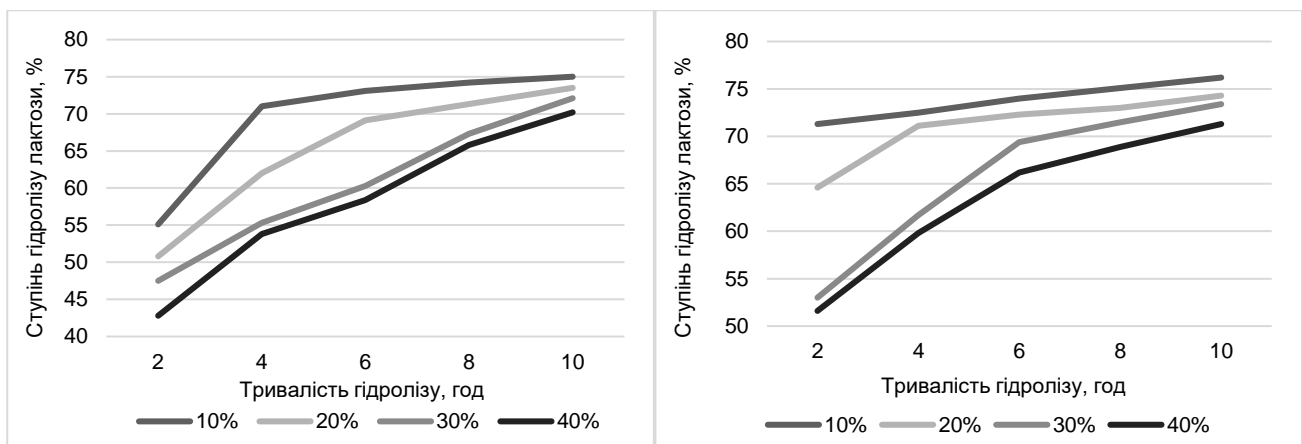
З метою проведення гідролізу лактози у рідких концентратах сироватки було прийнято такі схеми:

– схема 1. Ферментація рідких концентратів демінералізованої сироватки ферментним препаратом «GODO-YNL2» за наступних умов: температура – 37–42°C; тривалість – 10 год; масова частка ензиму – з розрахунку 0,1% ферменту для 10% концентрату, 0,2% ферменту для 20% концентрату, 0,3% ферменту для 30% концентрату, 0,4% ферменту для 40% концентрату.

– схема 2. Ферментація рідких концентратів демінералізованої сироватки за одночасного застосування ферментного препарату GODO-YNL2 та ЗП «*L. acidophilus* LYO 50 DCU-S» за наступних умов: температура – 37–42°C; тривалість – 10 год; масова частка ензиму – з розрахунку 0,1% ферменту для 10% концентрату, 0,2% ферменту для 20% концентрату, 0,3% ферменту для 30% концентрату, 0,4% ферменту для 40% концентрату; масова частка активованої закваски – 3%.

За одночасного внесення ФП «GODO-YNL2» та ЗП передбачається, що впродовж лаг-фази розвитку *L. Acidophilus* (2–4 год) фермент має встигнути виявити гідролітичну активність при активній кислотності $pH \geq 5,7$.

За схемою 1 було перевірено ефективність застосування ФП GODO-YNL2 для проведення гідролізу лактози у рідких концентратах сироватки за змінних параметрів процесу (рис. 3.1).



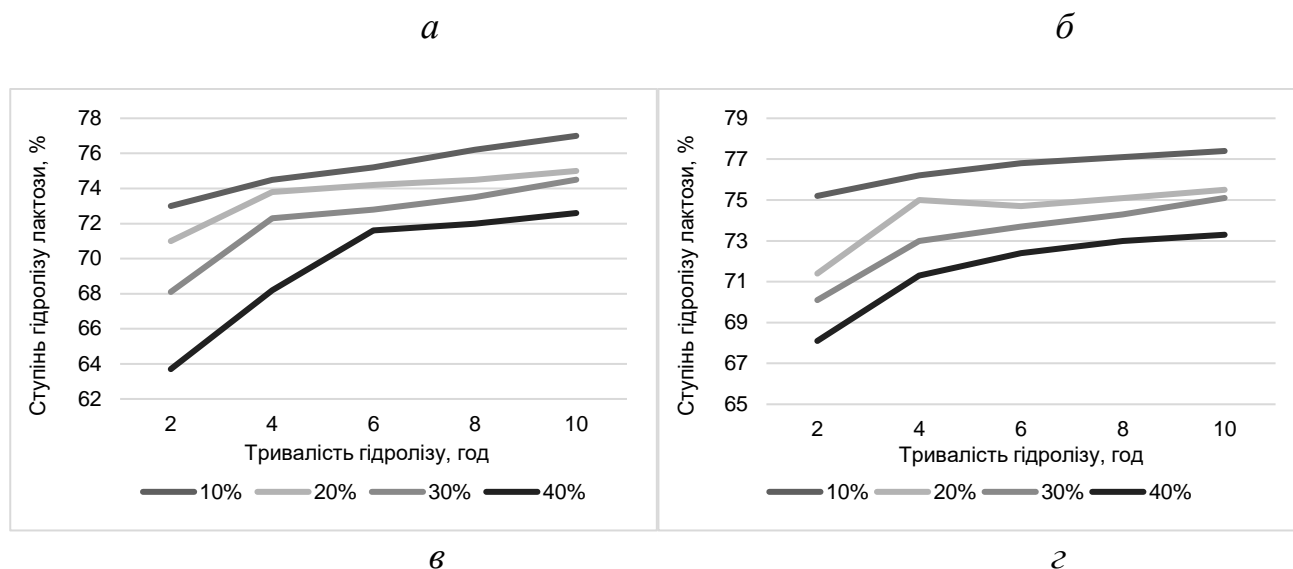


Рисунок 3.1 - Гідроліз лактози у рідких концентратах сироватки з м. ч. сухих речовин 10%, 20%, 30%, 40% за різної концентрації ферментного препарату: *a* – 0,1%; *б* – 0,2%; *в* – 0,3%; *з* – 0,4%.

Відповідно до рис. 3.1, ферментний препарат виявляє найвищу активність впродовж перших 4 год за найнижчої концентрації (0,1%). Збільшення масової частки ферменту дещо інтенсифікує процес гідролізу, особливо це помітно для систем з найбільшим вмістом лактози, у яких відбувається подовження активної фази дії ферментного препарату до 6 год.

Динаміка гідролізу лактози у рідких концентратах є подібною для зразків з 10-20% сухих речовин, для яких спостерігається різке збільшення ступеню гідролізу впродовж перших 2–4 год, після чого відбувається сповільнення реакції.

Подальше збільшення масової частки сухих речовин у концентратах до 30–40% знижує швидкість проходження процесу ферментації навіть на початкових етапах, і лише за збільшення концентрації ферменту до 0,3–0,4% динаміка процесу стає подібною до концентратів з масовою часткою сухих речовин 10% і 20%.

Отримані дані співвідносяться з дослідженням Dutra Rosolen, Gennari, Volpato, & Volken de Souza, 2015, де максимальна ефективність гідролізу лактози

через 2 год реакції була отримана з використанням β -галактозидази *K. lactis* при 37 °С. У молоці найвищий ступінь гідролізу становив 73,84 %. Для сироватки максимальна ефективність гідролізу була на рівні 74,98 %, а для пермеату – 69,42 %. Для β -галактозидази *K. lactis* за жодної з оцінених умов не було досягнуто 100% ефективності гідролізу.

Однак, у дослідженні (Dutra Rosolen, Gennari, Volpato, & Volken de Souza, 2015) визначено, що ферментний препарат з дріжджів *K. lactis* забезпечує однакові умови протікання процесу і в молоці, і в сироватці, незалежно від досліджуваної концентрації ферменту. В даному дослідженні збільшення концентрації ферменту прямо впливало на підсилення процесу конверсії молочного цукру до моносахаридів (рис. 3.1).

Збільшення концентрації ферменту у чотири рази подвоює вміст гідролізованої лактози в молоці після 12 год процесу ферментації, що було перевірено на прикладі сирого та пастеризованого молока з використанням чотирьох комерційних β -галактозидаз *Kluveromyces* при 2 °С протягом 72 год (Akguel, Demirhan, & Oezbek, 2012).

Наявні приклади досліджень (Horner, Dunn, Eggett, & Ogden, 2011), що повідомляють про значно вищі показники гідролізу лактози за допомогою ферменту *Kluveromyces*. Використання β -галактозидази *Kluveromyces* при 2 °С протягом 48 год реакції, забезпечує 100% ефективності процесу для пастеризованого молока. Відомо також про дослідження (Antunes et al., 2014), де оцінювали фізико-хімічні, мікробіологічні та органолептичні характеристики безлактозного молока з використанням β -галактозидази *K. lactis* при 10°С. За цих умов зафіксовано ступінь гідролізу на рівні 90% після 21 год реакції. Відмінності у наведених вище даних (Antunes et al., 2014) порівняно з повідомленими результатами у даному експерименті полягають у проведенні реакції гідролізу протягом значно довшого часу. Окрім того, на активність ферментів впливають численні фактори навколишнього середовища, серед яких температура є одним із найважливіших параметрів. Досягнення високого ступеня гідролізу у даному дослідженні можливе й завдяки температурі реакції на рівні 40–42°С, що є

вищою за застосовану у роботі (Antunes et al., 2014). Проте отримані результати можна вважати задовільними, оскільки, за даними (Hourigan et al., 1984), зниження концентрації лактози до 70–80% у молочних продуктах є достатнім для більшості людей з непереносимістю лактози.

Загалом, використання тільки ферментного препарату за вказаних концентрацій і прийнятих режимів не дозволяє досягти ступеня гідролізу лактози вище ніж 75–77%, що вказує на необхідність пошуку способів інтенсифікації даного процесу.

Саме тому, на наступному етапі було досліджено ефективність поєднання ферментного та ЗП для пришвидшення процесу гідролізу молочного цукру.

Динаміку гідролізу лактози за спільної дії різних препаратів представлено на рис. 3.2.

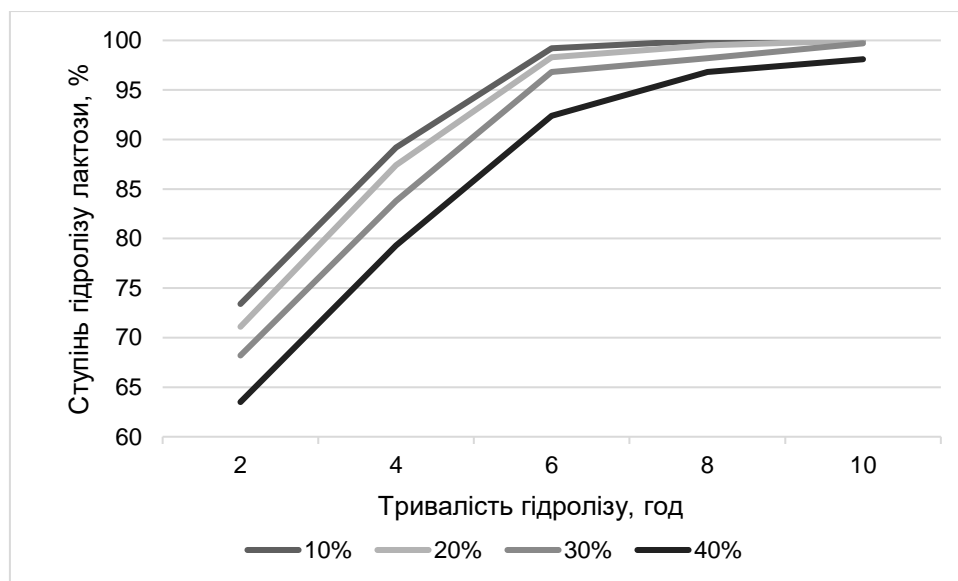


Рисунок 3.2 - Динаміка гідролізу лактози у рідких концентратах сироватки з м. ч. сухих речовин 10%, 20%, 30%, 40% за спільної дії ферментного та заквашувального препаратів

За даними рис. 3.2 ЗП подовжує активну фазу гідролізу лактози до 6 год, що забезпечує розщеплення понад 95% молочного цукру для концентратів з масовою часткою сухих речовин 10–30% та понад 90% для 40%-го

концентрату. Подовження тривалості гідролізу до 8 год для 40% концентрату дає змогу отримати конверсію лактози до 96,8%.

Щодо підвищення ефективності процесу гідролізу лактози за одночасного використання ферментного та заквашувального препаратів (рис. 3.2), можна відмітити, що інформація в науковій літературі з цього питання є вкрай обмеженою. Спираючись на дані щодо застосування пробіотичних культур у молочних продуктах з метою зниження вмісту лактози, потрібно зауважити, що частина з них дійсно володіє високою здатністю до конверсії молочного цукру. Саме такий підхід був використаний у дослідженні (Jurado, Camacho, Luzón, & Vicaria, 2004), де встановлено, що пробіотичні культури *L. delbrueckii* subsp. *bulgaricus* B-5b і *L. helveticus* LH-17 дозволяють досягнути ступеня гідролізу лактози близько 75%. У даному дослідженні завдяки спільній дії препаратів гідроліз лактози зростав на 21,8% у порівнянні з дією лише гідролітичного ферменту лактази. Причиною такого ефекту може бути застосування авторами дослідження (Wang & Sakakibara, 1997) спеціального ультразвукового оброблення систем перед початком гідролізу.

Таким чином, раціональною тривалістю гідролізу лактози у концентратах демінералізованої сироватки є 6 год для концентратів з масовою часткою сухих речовин 10% та 20% та 8 год – для концентратів з масовою часткою сухих речовин 30% та 40%, що забезпечує гідроліз лактози на рівні 96,8–100 %.

3.2. Результати дослідження вуглеводного складу рідких гідролізованих концентратів сироватки

Для більш глибокого розуміння особливостей перебігу процесу гідролізу лактози у рідких концентратах сироватки досліджено вуглеводний склад цукрів у ферментованих зразках (табл. 3.2).

Залишкова кількість молочного цукру після гідролізу не перевищує 1 % від початкової концентрації, що відкриває можливості до використання таких концентратів у виробництві продуктів зі зниженим вмістом лактози або низьколактозних.

Таблиця 3.2 - Вуглеводний склад рідких гідролізованих концентратів сироватки
($p \leq 0,05$, $n=3$)

Показник	Концентрат з м. ч. сух. реч., %			
	10	20	30	40
Масова частка лактози, %	0,06±0,00	0,26±0,01	0,41±0,01	0,97±0,02
Масова частка глюкози, %	3,71±0,05	7,23±0,03	11,51±0,01	14,38±0,04
Масова частка галактози, %	4,03±0,09	8,01±0,01	11,38±0,02	13,49±0,01
Співвідношення глюкози до галактози	1:1,09	1:1,10	1:0,98	1:0,94

Динаміка утворення моносахаридів внаслідок гідролізу лактози є подібною для концентратів 10 та 20 %, де у системах незначно переважає галактоза. Однак, для концентратів 30 та 40 % відбувається урівноваження співвідношення між моносахаридами з незначним переважанням глюкози. Такі зміни можуть бути обумовлені як умовами проведення процесу гідролізу (тривалість, температура тощо), так і присутністю ацидофільної палички, що може більш активно споживати глюкозу та продукувати її у галактозу (10 та 20 % концентрати). З підвищенням масової частки сухих речовин у досліджуваних зразках до 30 і 40 % активність ацидофільної палички може бути не настільки вираженою через потенційні зміни в осмотичному тиску середовища, що може в деякій мірі гальмувати споживання одного моносахариду та його конверсію в інший.

Гідроліз лактози з утворенням відповідних моносахаридів з одночасним переважанням у системі галактози (табл. 3.2) є наслідком того, що ацидофільна паличка споживає глюкозу та конвертує її до галактози. Повідомлялося (Alm, 1982), що ферментативними методами досліджено вміст лактози, глюкози та

галактози в різних кисломолочних продуктах. Лактоза була знижена в усіх ферментованих продуктах. Після 11 днів зберігання йогурту вміст лактози знизився приблизно до 2,3 г/100 г порівняно з 4,8 г/100 г у неферментованому молоці. У той же період вміст галактози збільшився від залишкового вмісту у молоці до 1,3 г/100 г в йогурті. Результати були подібними з ацидофільним молоком і молоком з біфідобактеріями. Як відомо, галактоза попереджає виникнення та спрощує перебіг різних захворювань, пов'язаних із порушеннями функцій мозку, а також вона може бути додатковим джерелом енергії для організму та впливати на обмін речовин, зокрема вуглеводів (Shwe, Pratchayasakul, Chattipakorn, & Chattipakorn, 2018). Однак, у концентратах 30 % та 40 % після гідролізу лактози виявлено незначне переважання глюкози, що може вказувати на зниження активності ацидофільної палички в умовах підвищеного осмотичного тиску.

Саме тому важливо звернути увагу й на активність води у ферментованих концентратах, що дасть опосередковане уявлення про взаємозв'язок між цим показником та осмотичним тиском у водному середовищі досліджуваних харчових систем та можливим впливом на активність ацидофільної палички по відношенню до моносахаридів.

3.3. Фізико-хімічні показники рідких гідролізованих концентратів сироватки

З метою розуміння можливих змін, що відбуваються у концентратах сироватки після гідролізу, проведеного за допомогою комбінації препаратів, було досліджено їхні в'язко-швидкісні характеристики до та після ферментації.

Ефективна в'язкість концентратів збільшується з підвищенням вмісту сухих речовин у системі, що безперечно впливає на здатність структури до відновлення. Гідроліз лактози дещо знижує ефективну в'язкість, що може бути пов'язано зі зниженням молекулярної маси вуглеводів. Однак, тиксотропність систем після ферментації збільшується, що вказує на те, що міцність зв'язків, що формуються внаслідок гідролізу лактози, ймовірно, є вищими, ніж у негідролізованих

концентратах. Не зважаючи на меншу ефективну в'язкість рідких концентратів через присутність продуктів гідролізу лактози, їхня тиксотропність зростає для всіх зразків (табл. 3.3), що особливо помітно у системах з високим вмістом сухих речовин, у тому числі білка. Причиною цього може бути утворення комплексів сироваткових білків з моносахаридами, що здатні покращувати реологічні характеристики сумішей.

Таблиця 3.3 - Реологічні характеристики рідких концентратів сироватки

М. ч. сух. реч. в концентраті, %	Ефективна в'язкість (мПа·с) за змінного градієнта швидкості зсуву			Час граничного руйнування структури ($\gamma=1312,2 \text{ c}^{-1}$), хв	Ступінь відновлення структури, %
	$\gamma = 3 \text{ c}^{-1}$ (прямий хід)	$\gamma = 1312,2 \text{ c}^{-1}$	$\gamma = 3 \text{ c}^{-1}$ (зворотний хід)		
Неферментовані					
10	135,8±1,25	10,1±0,3	70,7±1,00	2,9±0,1	52,06
20	220,4±2,54	11,2±0,2	120,4±2,05	2,4±0,2	54,62
30	295,3±3,18	14,5±0,2	188,2±1,45	2,2±0,2	63,73
40	340,1±1,87	16,6±0,4	240,5±3,84	3,1±0,1	70,71
Ферментовані					
10	119,8±3,56	15,4±0,1	78,5±2,14	2,7±0,2	65,52
20	195,6±2,01	17,8±0,1	130,4±1,66	2,8±0,2	66,67
30	280,5±2,24	18,0±0,3	190,9±2,45	2,6±0,1	68,05
40	328,2±4,81	18,4±0,2	255,1±2,92	3,0±0,1	77,72

У роботі (Puangmanee, Hayakawa, Sun, & Ogawa, 2008) порівнювали вплив сироваткових білків з різними моносахаридами на реологічні властивості сумішей. Показано, що наявність d-глюкози, d-фруктози, d-алози та d-психози додатково підвищує стійкість до піноутворення та піностійкості сумішей, причому це значення лише збільшується протягом інтервалу збивання від 15 до

30 хв. Це свідчить про те, що моносахариди за підвищення вмісту у системах з сироватковими білками можуть у більшій мірі виявляти здатність до утворення комплексів «вуглевод-білок».

Реологічні властивості 30 та 40% концентратів вказують на те, що ці системи володіють високою здатністю до відновлення зруйнованих зразків. Це дозволяє зробити припущення, що їх застосування у складі морозива в подальших дослідженнях є доцільним для коригування показників якості, зокрема під час тривалого зберігання.

Аналіз фізико-хімічних показників гідролізованих концентратів дає чітке розуміння про стан води у системах, а також про їх основні поживні характеристики (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 - Фізико-хімічні показники рідких концентратів сироватки

Показник	Концентрат з масовою часткою сухих речовин, %			
	10	20	30	40
Масова частка білка, %	1,09±0,01	2,21±0,03	3,30±0,01	4,44±0,01
Масова частка жиру, %	0,10±0,00	0,21±0,00	0,31±0,01	0,42±0,01
Загальна масова частка вуглеводів, %	7,98±0,11	15,55±0,19	23,90±0,08	31,73±0,20
Активна кислотність, од. рН	5,49±0,01	5,30±0,02	5,18±0,02	5,12±0,01
Активність води, од.	0,958±0,02	0,950±0,03	0,940±0,02	0,933±0,04

Відповідно до табл. 3.4, активність води у гідролізованих концентратах знижується за збільшення масової частки сухих речовин. Ці значення є нижчими за активність води у негідролізованих концентратах, що може свідчити про підвищення осмотичного тиску в присутності моносахаридів з відповідним формуванням більш міцної сітки, що краще утримує вологу. Особливо це стає помітним у концентратах 30% та 40%-вих, високий вміст білка та вуглеводів у яких суттєво впливають на формування основних характеристик у цих системах. Дослідження активності води у неферментованих та ферментованих

концентратах (табл. 3.1, 3.4) демонструє вплив моносахаридів на стан води у досліджуваних зразках. Незначне зниження активності води у ферментованих сироваткових концентратах внаслідок гідролізу лактози у деякій мірі впливатиме на процеси формування фізико-хімічних показників морозива як полідисперсної харчової системи. Тому в подальшій роботі необхідно буде дослідити $t_{кр}$ зразків морозива за основи гідролізованих концентратів демінералізованої сироватки.

Хімічний склад рідких концентратів демінералізованої сироватки (табл. 3.1, табл. 3.4) дещо відрізняється від відомого складу рідких концентратів сироватки, які зазвичай мають більш високий вміст білка (5,09–11,93%), але менший вміст сухої речовини (14,09–26,45%), при цьому вміст жиру коливається від 0,43–0,78 % для нежирних концентратів до 6,43–7,82% для повножирних концентратів (Henriques, Gomes, Borges, & Pereira, 2019; Henriques, Gomes, Pereira, 2017). Використання високодемінералізованої сироватки для отримання концентратів у цьому дослідженні значно підвищує вміст лактози до 30,8 %, що може істотно вплинути в подальшому на якість морозива. Однак, гідроліз лактози в сироваткових концентратах дозволяє знизити її вміст до 0,98%, що нижче за значення (4,95 %), повідомлені в іншому дослідженні (Henriques, Gomes, Borges, & Pereira, 2019). У той же час, висока частка сухих речовин (39,92–40,01%) у рідких концентратах могла б забезпечити рекомендований рівень сухих речовин у морозиві в межах 25–35%, що особливо важливо для нежирного продукту. Різницю в отриманих значеннях можна пояснити використанням сироватки різного походження, а також застосуванням спеціальних технологій виробництва концентратів.

За комплексом фізико-хімічних та реологічних характеристик концентрат з масовою часткою 40% є перспективним для подальшого дослідження у складі морозива як інгредієнт з вираженими технологічними показниками ~~так-ж~~ і як білковий збагачувач.

Однак, сироваткове морозиво є продуктом любительської групи, що обумовлює відсутність чітких вимог до його хімічного складу, а також вад органолептичних показників. З цієї причини перспектива подальшої роботи

полягає у дослідженні потенційних технологічних функцій рідких гідролізованих концентратів сироватки у складі морозива та їх впливу на показники якості продукту, зокрема під час тривалого зберігання.

Висновки до розділу 3

1. Застосування ферментного препарату «GODO-YNL2» у рідких концентратах сироватки не дозволяє досягти ступеня гідролізу лактози вище ніж 75–77%. Одночасне застосування ферментного «GODO-YNL2» та заквашувального препаратів «*L. acidophilus* LYO 50 DCU-S» протягом 6 год забезпечує гідроліз понад 95% молочного цукру для концентратів з масовою часткою сухих речовин 10–30% та понад 90% для 40%-го концентрату. Раціональною тривалістю гідролізу лактози у концентратах демінералізованої сироватки за комбінації препаратів є 6 год для концентратів 10 та 20% та 8 год для концентратів 30 та 40%, що забезпечує гідроліз лактози на рівні 96,8–100%.

2. Динаміка продукування моносахаридів внаслідок гідролізу лактози є подібною для концентратів 10 та 20 %, де у системі незначно переважає галактоза. Однак, для концентратів 30 та 40 % відбувається урівноваження співвідношення моносахаридів з незначним переважанням глюкози, що пояснюється пригніченням активності ацидофільної палички в умовах підвищеного осмотичного тиску у концентратах.

3. Реологічні властивості концентратів з масовою часткою сухих речовин 30 та 40 % вказують на те, що ці системи володіють високою здатністю до відновлення. Активність води у них є нижчою за неферментовані концентрати, що впливає на підвищення осмотичного тиску.

РОЗДІЛ 4. НАУКОВЕ ОБҐРУНТУВАННЯ СКЛАДУ АЦИДОФІЛЬНОГО-СИРОВАТКОВОГО МОРОЗИВА НИЗЬКОЛАКТОЗНОГО

4.1. Розроблення базових рецептур морозива на основі рідких концентратів демінералізованої сироватки

4.1.1. Обґрунтування можливості часткової заміни цукру в морозиві рідкими концентратами демінералізованої сироватки

З метою дослідження ступеня солодкості гідролізованих концентратів демінералізованої сироватки з масовою часткою сухих речовин 10–40% було проведено розрахунок їх відносної солодкості (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Ступінь солодкості концентратів сироватки з різним ступенем гідролізу

Масова частка сухих речовин у концентратах, %	Ступінь гідролізу лактози, %			
	0	85	90	95
10	0,0123	0,0359	0,0373	0,0387
20	0,0246	0,0718	0,0745	0,0773
30	0,0369	0,1076	0,1118	0,1160
40	0,0492	0,1435	0,1491	0,1547

Спостерігається пряма кореляція між ступенем гідролізу і ступенем солодкості концентратів сироватки (табл. 4.1) внаслідок підвищення вмісту моносахаридів як продуктів деструкції лактози.

Для проведення подальших досліджень було обрано концентрат із вмістом сухих речовин 40%. Цей концентрат найбільш наближений до хімічного складу морозива повножирного і спроможний ефективно підтримувати заданий баланс за вмістом сухих речовин у морозиві нежирному або низькожирному для

запобігання вад консистенції, таких як піщанистість, грубокристалічна структура та водянистий смак (Akalin, Karagözlü, & Ünal, 2008), оскільки в більшості своїй вони викликані присутністю підвищеної кількості вільної води.

На наступному етапі було підготовлено суміші з негідролізованим концентратом сироватки (5 контрольних зразків: НГК1, НГК2, НГК3, НГК4, НГК5) і суміші з гідролізованим концентратом сироватки (5 дослідних зразків: ГК1, ГК2, ГК3, ГК4, ГК5) за одночасного зниження вмісту цукру від 17% до 9% і підвищення вмісту концентрату демінералізованої сироватки у кількості від 0% до 30% за масовою часткою сухих речовин.

Зразки сумішей з гідролізованим концентратом (ГК1-ГК6) було оцінено за 6-ма дескрипторами сприйняття солодкості цукрози (Trumbo et al., 2021), які в авторській редакції мали наступну градацію за ступенем солодкості: 0,96–1,0 – дуже солодкий, 0,91–0,95 – солодкий, 0,81–0,9 – достатньо солодкий, помірно солодкий – 0,66–0,8, недостатньо солодкий – 0,41–0,65, несолодкий – 0–0,4.

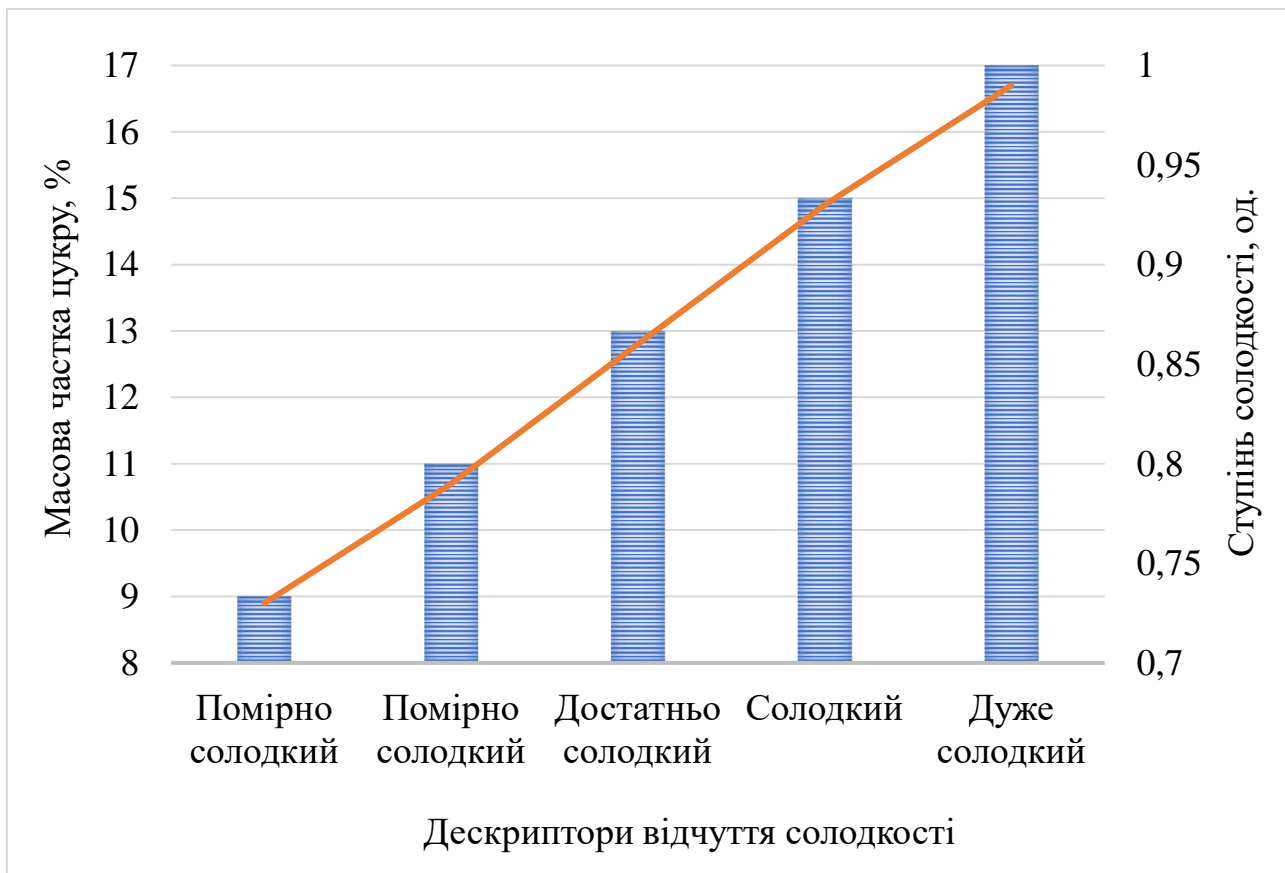


Рисунок 4.1 – Кореляція між дескрипторами сприйняття солодкості та індексом солодкості в залежності від масової частки цукру у контрольних зразках

Ступінь солодкості зразка морозива сироваткового з масовою часткою цукру 17%, виготовленого за рецептурою з типовим хімічним складом (масова частка сухих речовин – 25%, в тому числі масова частка цукру – 17,0%, масова частка крохмалю – 2,84%, масова частка жиру – не більше 0,5%), було прийнято за 1. За результатами органолептичної оцінки зразків морозива сироваткового за критерій оптимізації складу морозива обрано ступінь солодкості від 0,8 до 0,9 з врахуванням уподобань сучасних споживачів до продуктів десертного призначення помірної солодкості.

Для проведення оптимізації складу морозива сироваткового було створено відповідні матриці із розрахованими значеннями індексу солодкості морозива за різного співвідношення між цукром та гідролізованим сироватковим концентратом.

Існуючі моделі оптимізації рецептур зводили до завдання регресійного аналізу експериментальних даних методом багатовимірної апроксимації. Для оптимізації функцій відгуку з метою розробки рекомендацій щодо часткової заміни цукру у морозиві на гідролізовані концентрати сироватки, авторами використано методологію поверхні відгуку за допомогою графічних 3D моделей у вигляді ізоліній (Litnarovich, 2011).

Незалежними чинниками, якими варіювали, обрано масову частку цукру (X_1) в діапазоні від 9% до 17% та масову частку сухих речовин концентратів сироватки (X_2) в діапазоні від 0% до 30%. Вміст у морозиві сухих речовин сироватки 10, 20 і 30% забезпечували вмістом 40%-го концентрату сироватки у кількостях 25, 50 і 75%.

У загальному вигляді функція відгуку описується таким поліномом:

$$\hat{y}(x, b) = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{k=1}^n b_k x_k^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n b_{ij} x_i x_j, \quad (4.1)$$

де $x \in R^n$ – вектор змінних, b – вектор параметрів.

Для знаходження відносної солодкості з концентратами сироватки демінералізованої у складі морозива були виведені рівняння регресії у вигляді поліномів другого ступеню. Отримані рівняння з розрахованими коефіцієнтами мають вигляд:

$$F1 = 0,0195 + 0,005x + 0,00008x^2 + 0,056y - 0,0005y^2 - 0,0005xy \quad (4.2)$$

$$F2 = 0,0017 + 0,056x + 0,00005x^2 + 0,0086y + 0,00009y^2 - 0,0001xy \quad (4.3)$$

Де:

$F1$ – відносна солодкість морозива з концентратом сироватки демінералізованої (без гідролізу лактози);

$F2$ – відносна солодкість морозива з концентратом сироватки демінералізованої (зі ступенем гідролізу лактози 90 %);

x – м. ч. цукру, %;

y – м. ч. сухих речовин демінералізованої сироватки, %.

Для перевірки адекватності отриманих моделей (4.2) та (4.3) було проведено обчислення середньоквадратичного відхилення як квадратного кореня з дисперсії за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-1}}, \quad (4.4)$$

де \hat{y}_i – значення, розраховані за допомогою регресійного рівняння, y_i – значення експериментальних даних.

Для показника відносної солодкості морозива з концентратом сироватки демінералізованої (без гідролізу лактози) середньоквадратичне відхилення становить $\sigma_{F1} = 0.0003$, для показника відносної солодкості морозива з гідролізованим концентратом сироватки демінералізованої – $\sigma_{F2} = 0.0001$, що свідчить про досить високий ступінь відтворюваності результатів дослідження за допомогою площини відгуку.

Відповідно до рівнянь (4.2) і (4.3) на рис. 2 наведені графічні залежності функцій відгуку від варійованих параметрів – масової частки цукру та масової частки сухих речовин сироватки у складі морозива.

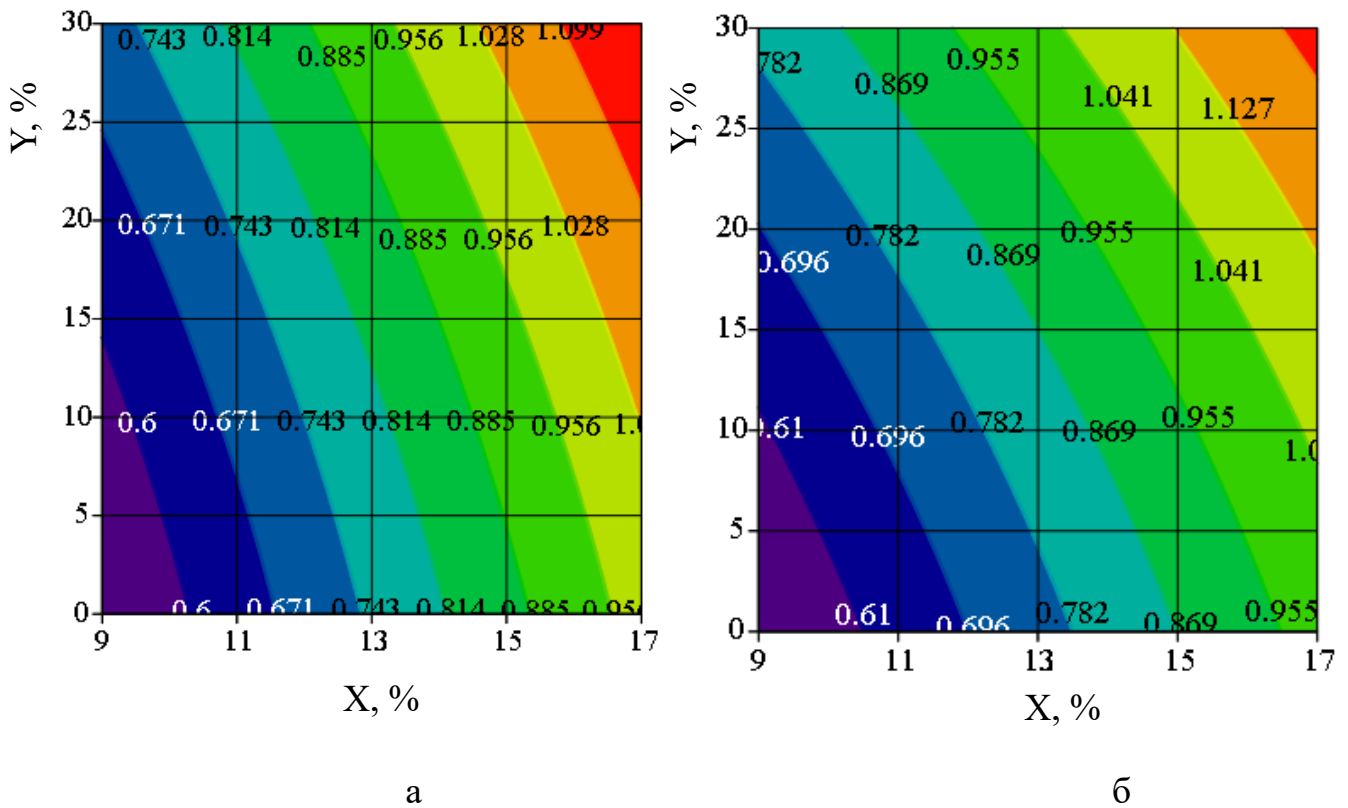


Рисунок 4.2 – Графічні залежності у вигляді ізоліній значень відносної солодкості морозива від масової частки цукру (%) – X та масової частки сухих речовин сироватки (%) – Y з концентратом сироватки: а – демінералізованої негідролізованої; б – демінералізованої гідролізованої.

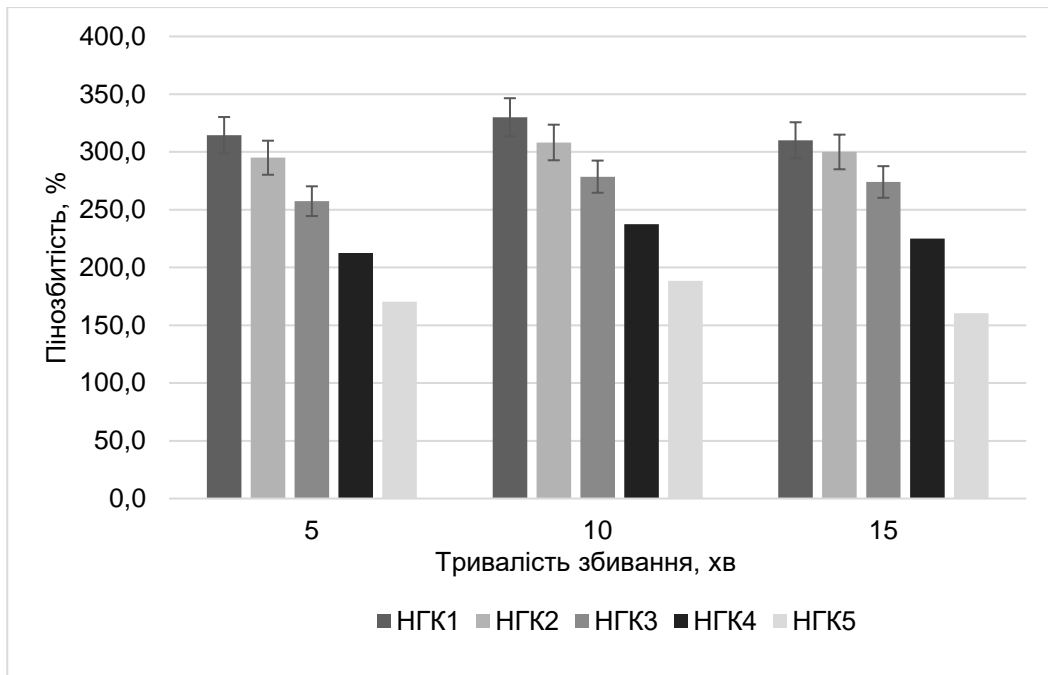
Згідно з результатами оптимізації складу морозива (рис. 4.2) встановлено діапазони вмісту цукру і концентратів гідролізованої і негідролізованої сироватки з масовою часткою сухих речовин 40%, які забезпечують відносну солодкість продукту у межах від 0,8 до 0,9.

Для досягнення рекомендованого ступеня солодкості морозива (0,8–0,9) для продукту з негідролізованим концентратом сироватки максимально можливою заміною цукру є зниження його вмісту від 15,5% до 11,0% за одночасного внесення до 30% сухих речовин концентрату. Що стосується морозива з

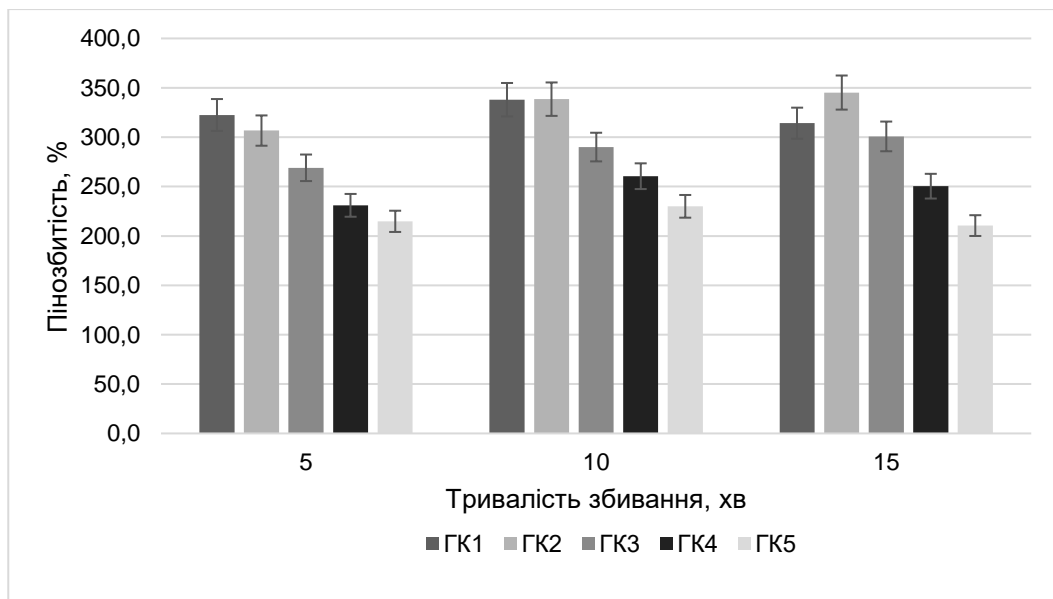
гідролізованим концентратом, то максимально можливе зниження вмісту цукру є суттєвішим і досягає 9% у разі внесення до 30% сухих речовин концентрату.

Відомо, що цукроза у складі морозива відіграє функції підсолоджувача та є джерелом сухих речовин, забезпечує належне формування структури замороженого десерту та впливає на його фізико-хімічні показники – збитість та опір таненню (Hinkova, Bubnik, & Kadlec, 2015; Atallah, Morsy, Abbas, & Khater, 2022). Заміна цукрози на інші інгредієнти, такі як моносахариди, харчову клітковину та інші не завжди позитивно відображається на якості готового продукту (Özdemir, Arslaner, Özdemir, & Özdemir, 2008; Mitchell, 2008). З метою перевірки ймовірного впливу зниження вмісту цукру за одночасної його заміни на концентрати сироватки було проведено дослідження пінозбитості та піностійкості сумішей морозива (рис. 4.3–4.6), величини яких дають змогу передбачити вплив складових сироватки на показники якості готового продукту, що було доведено науковцями у працях, присвячених технології морозива, зокрема сироваткового (Lim, Swanson, & Clark, 2008; Lim, Swanson, Ross, & Clark, 2008; Xinyi, Pei, & Schmidt, 2010).

З наведених на рис. 4.3 даних, можна побачити, що пінозбитість сумішей з негідролізованим концентратом сироватки протягом перших 10 хв збільшувалася з подальшим незначним зниженням, окрім зразку НГК5 з найбільшим ступенем заміни цукру на концентрат сироватки, що спричинювало різке зниження показника пінозбитості. Зразки сумішей морозива з гідролізованим концентратом сироватки виявляли підвищену пінозбитість протягом 15 хв збивання, окрім зразків ГК4 та ГК5, пінозбитість яких після 10 хв збивання незначно знижувалася. Syed, Anwar, Shukat, & Zahoor (2018) повідомляли, що рекомендованою масовою часткою цукру у складі морозива є 14–16%, однак допустимою може бути діапазон від 12% до 20%, через те, що застосування меншої або більшої дози у морозиві з підвищеним вмістом сухих речовин може призвести до погіршення показників якості.



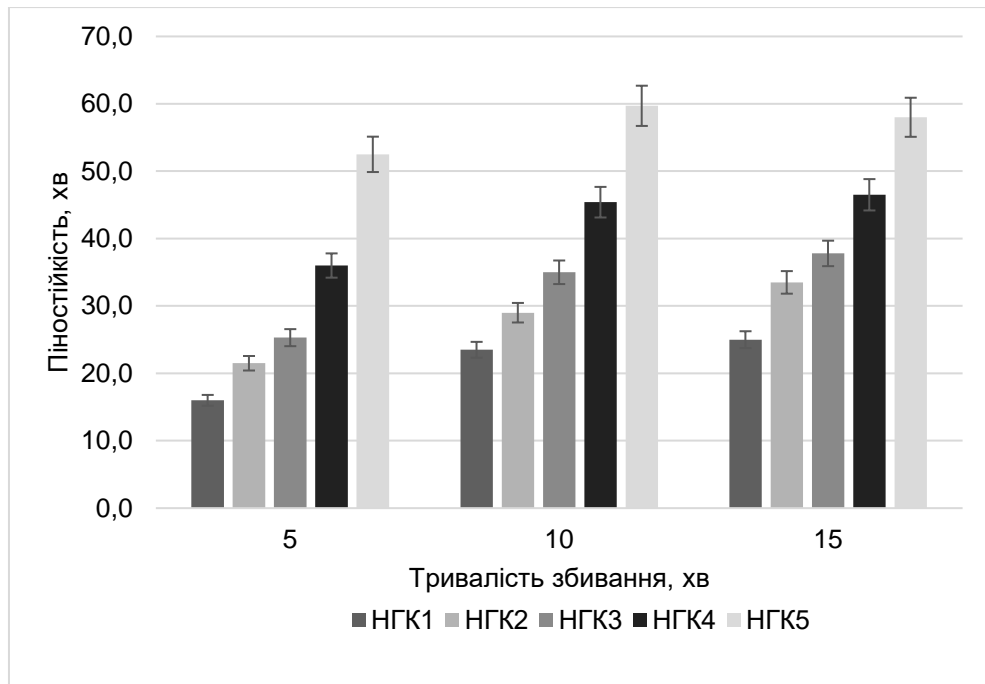
а



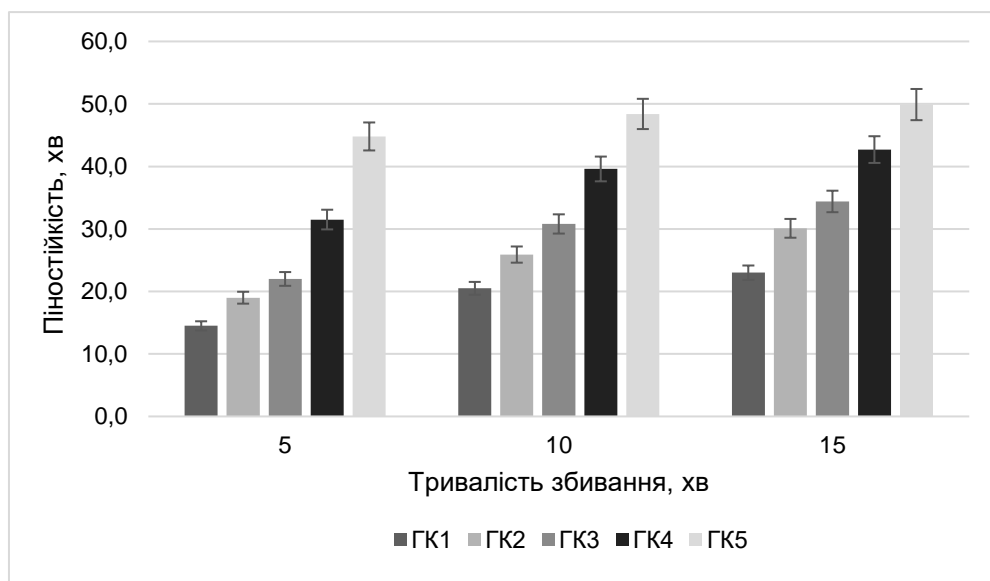
б

Рисунок 4.3 – Пінозбитість сумішей морозива: а – з негідролізованим концентратом, б – з гідролізованим концентратом

Однак, дослідження сумішей морозива у даній роботі вказує на те, що за використання 11% цукру і 30% сухих речовин негідролізованого концентрату, а також 9% цукру і 30% сухих речовин гідролізованого концентрату вдається отримати пінозбитість, що є вищою за встановлений задовільний рівень (200%).



а



б

Рисунок 4.4 – Піностійкість сумішей морозива: а – з негідролізованим концентратом, б – з гідролізованим концентратом

На думку Goff (2018) відомі випадки варіювання масової частки цукру у різних видах морозива вкладаються у діапазон 9–28%, що підтверджує недоцільність подальшого зниження цукрози у морозиві з гідролізованим концентратом сироватки. Також відомо, що сироваткові інгредієнти збільшують пінозбитість та піностійкість сумішей морозива. Так, Lim, Swanson, Ross, & Clark

(2008) повідомляли, що оброблений концентрат сироваткового білка допомагає досягти оптимальних показників піностійкості та пінозбитості у сумішах низькожирного морозива (масова частка сухих речовин 37,94%), однак, в даному дослідженні піностійкість була нижчою (рис. 4.4), в той час як пінозбитість – більшою, що пов'язано з варійованим вмістом сухих речовин у зразках (від 18% до 41,61%) та адсорбувальною дією моносахаридів (Leiras, Alzamora, & Chirife, 1990) у зразках з гідролізованим концентратом сироватки, що забезпечує рівномірний розподіл вільної вологи та її утримання. İbanoğlu, & Karataş (2001) встановили, що обробка високим тиском концентрату сироваткових білків дозволяє досягти максимальних значень піностійкості при використанні, тому, ймовірно, навіть оброблення за низького тиску суміші під час гомогенізації позитивно впливає на це значення.

Різниця між показниками пінозбитості та піностійкості для зразків з негідролізованим (НГК1–НГК5) та з гідролізованим (ГК1–ГК5) концентратами сироватки можна також пояснити меншою в'язкістю харчових систем з продуктами гідролізу лактози (Schmidt, Mende, Jaros, Rohm, 2016), що певною мірою дає змогу збільшити загальну кількість сухих речовин без суттєвого погіршення показників якості.

Таким чином, зниження потреби у цукрі в морозиві з негідролізованим концентратом сироватки може досягати 29% (у перерахунку на його загальний вміст), а з гідролізованим концентратом – 42%. Слід відмітити, що у випадку застосування гідролізованого концентрату цей показник значно перевершує результати дослідження інших науковців (Sofjan, Hartel, & 2004), які досягли лише 25% заміни цукру. Навіть негідролізований концентрат за рахунок високого вмісту лактози спроможний частково замінити цукор, хоча у складі морозива внесення лактози у такій кількості може призводити до вад консистенції.

У той же час, масова частка сухих речовин у морозиві суттєво не зменшується, на що вказували McCain, Kaliappan, & Drake (2018), що є позитивним моментом, особливо для морозива нежирного із низьким вмістом сухих речовин.

4.1.2. Якісні показники морозива на основі концентратів демінералізованої сироватки

Аналіз даних щодо оптимізації складу морозива сироваткового дав змогу обґрунтувати базовий рецептурний склад морозива на основі рідких концентратів сироватки з максимальною заміною цукру, що наведені у табл. 4.2. Масову частку стабілізаційної системи на рівні 0,6% було обрано відповідно до рекомендацій виробника для її застосування у складі нежирних видів морозива.

Для створення бази порівняння в якості контролю було обрано рецептуру морозива сироваткового, що відноситься до любительських типів морозива, з такими характеристиками: масова частка сухих речовин – 25%, в тому числі масова частка цукру – 17%, масова частка крохмалю – 2,84%, масова частка жиру – не більше 0,5%.

Таблиця 4.2 – Рецептури морозива сироваткового

Рецептурні компоненти	Маса компонентів, кг/1000 кг продукту		
	Контроль	НГК	ГК
Сироватка молочна свіжа підсирна	771,59	–	–
Рідкий концентрат сироватки (м. ч. сух. реч. 40%)	–	750,0	–
Рідкий гідролізований концентрат сироватки (м. ч. сух. реч. 40%)	–	–	750,0
Цукор білий кристалічний	170,0	110,0	90,0
Крохмаль картопляний желюючий	2,84	–	–
Сremodan SI 320	–	6,0	6,0
Закваска ацидофільна	30,0	30,0	30,0
Ванілін	0,01	0,01	0,01
Вода питна	–	103,99	123,99
Всього	1000,0	1000,0	1000,0

Примітка. НГК – морозиво на основі негідролізованого концентрату сироватки з м. ч. с. р. – 40%, ГК – морозиво на основі гідролізованого концентрату сироватки з м. ч. с. р. – 40%.

З метою всебічної оцінки модельних зразків морозива та їх порівняння з існуючим складом (контроль) було не тільки визначено фізико-хімічні показники, але й проведено розрахунок хімічного складу (табл. 4.3).

Таблиця 4.3 – Фізико-хімічні показники сумішей і морозива сироваткового
($p \leq 0,05$; $n=3$)

Фізико-хімічні показники	Контроль	НГК	ГК
Масова частка сухих речовин, %, у тому числі:	25,05±0,21	41,61±0,41	39,61±0,40
- лактози	3,91±0,02	23,70±0,02	0,70±0,01
- білка	0,76±0,01	3,31±0,02	3,30±0,01
жирів	0,10±0,00	0,74±0,02	0,74±0,01
вуглеводів	24,78±0,52	34,9±0,13	33,8±0,08
Збитість, %	38,71±1,12	62,76±1,40	71,94±1,23
Опір таненню, хв	28,92±0,94	43,74±1,08	35,15±0,51
Активність води	0,963±0,009	0,942±0,012	0,911±0,017
Енергетична цінність, ккал	103,1	159,5	151,7
Забезпечення білком, %	2,9	8,3	8,7
Біологічна цінність, %	40,8	58,3	58,3

Морозиво на основі концентратів сироватки за масовою часткою сухих речовин можна віднести до повножирового аналогу (12–18% жиру), а саме категорії понадпреміального виду морозива (масова частка сухих речовин 40–42%) у випадку застосування негідролізованого концентрату та до категорії преміального (масова частка сухих речовин 38–40%) у випадку використання гідролізованого концентрату (Romulo, & Meindrawan, 2021). Зазвичай, масова частка білків у морозиві на молочній основі у складі сухого знежиреного молочного залишку становить від 2% до 3,7% (Patel, Baer, & Acharya, 2006;

Polishchuk et al., 2020), однак для любительських видів морозива, зокрема сироваткового, цей показник може бути нижчим на рівні 1,28–1,41% (Polishchuk et al., 2021; Young, 2007). В обох рецептурах морозива (зразок НГК та ГК) вміст високоцінних сироваткових білків становить 3,3%, що цілком відповідає стандартному вмісту протеїнів у морозиві для забезпечення формування, характерних для цього продукту, органолептичних та фізико-хімічних показників. Рівень забезпечення білком значно перевищує контрольний склад, однак не є достатнім для того, щоб віднести його до продукту, збагаченого білком (понад 12% забезпечення білком відповідно до регулятиви ЄС №1924/2006), що буде одним з подальших напрямків дослідження. Загалом дані з табл. 4.3 свідчать про суттєве підвищення харчової цінності розроблених складів морозива на основі рідких концентратів сироватки. Однак за кількістю лактози морозиво з негідролізованим концентратом суттєво перевищує інші зразки, що може стати причиною утворення вад консистенції та смаку під час зберігання продукту за мінусових температур та буде враховано при подальшому дослідженні.

Відповідно до табл. 4.3, у морозиві з гідролізованим концентратом вміст сухих речовин зменшується на 2% у порівнянні з морозивом на основі негідролізованого концентрату, що обумовлено зниженою потребою у цукрі в присутності моносахаридів. У той же час, вміст лактози у зразку з неферментованим концентратом є неприпустимо високим (23,7%), що може негативно впливати на якість продукту під час зберігання (Livney, Donhowe, & Hartel, 1995; Dekker, Koenders, & Bruins, 2019), тому саме застосування гідролізованого концентрату сироватки є прийнятним у складі морозива. Зазвичай морозиво є високолактозним продуктом, тому що середній вміст у ньому сухого знежиреного молочного залишку на рівні 10% забезпечує присутність до 5,2–5,5 % лактози (Mykhalevych, Polishchuk, Nassar, Osmak, & Buniowska-Olejnik, 2022). На відміну від морозива традиційного складу, морозиво на основі гідролізованого концентрату сироватки містить у 6,7 рази менше лактози за одночасного збагачення біологічно повноцінним білком. Це є

важливою перевагою даної авторської розробки, яка дозволяє запобігати надлишковій кристалізації лактози.

Щодо впливу гідролізованих сироваткових концентратів на осмотичний тиск водної фази морозива, то встановлено дещо нижчу активність води суміші з гідролізованим концентратом, порівняно з активністю води суміші з негідролізованим концентратом в присутності моносахаридів як продуктів гідролізу лактози. Суміш з гідролізованим сироватковим концентратом не є харчовою системою з проміжною вологістю ($A_w = 0,6-0,84$) (Saha, 2020), але високий вміст в ній моносахаридів суттєво впливає на процеси формування фізико-хімічних показників морозива як полідисперсної харчової системи (Polischuk, Bass, Osmak, & Breus, 2019; Arslaner, Salik, Özdemir, & Akköse, 2019). Зокрема, збитість морозива з гідролізованим концентратом підвищується, але опір таненню знижується, порівняно з морозивом з негідролізованим концентратом сироватки. Зрозуміло, що такі зміни обумовлені, насамперед, присутністю продуктів гідролізу лактози, які знижують $t_{кр}$ і, відповідно, формостійкість морозива (Özdemir, Dağdemir, Özdemir, & Sağdıç, 2008). Тому морозиво з моносахаридів, яке має м'яку консистенцію, необхідно фасувати у жорстку споживчу тару.

З метою виявлення ймовірного впливу концентрату сироватки на консистенцію та структуру морозива було досліджено швидкість танення дослідних зразків після їхнього зберігання за температури мінус (18 ± 2) °C до 14 діб (рис. 4.5).

Відповідно до зображених на рис. 4.5 даних щодо швидкості танення морозива, можна побачити, що для обох зразків вона зменшується з подовженням тривалості зберігання до 2 тижнів. Водночас, для зразка морозива з негідролізованим концентратом сироватки цей показник є меншим, ніж для зразку з гідролізованим концентратом, за суттєвішого зниження масової частки цукру як кріопротектора. Також, опосередковано на $t_{кр}$ впливає і лактоза (Mullan, 2015), гідроліз якої призводить до зниження опору таненню (Matak et al., 2003).

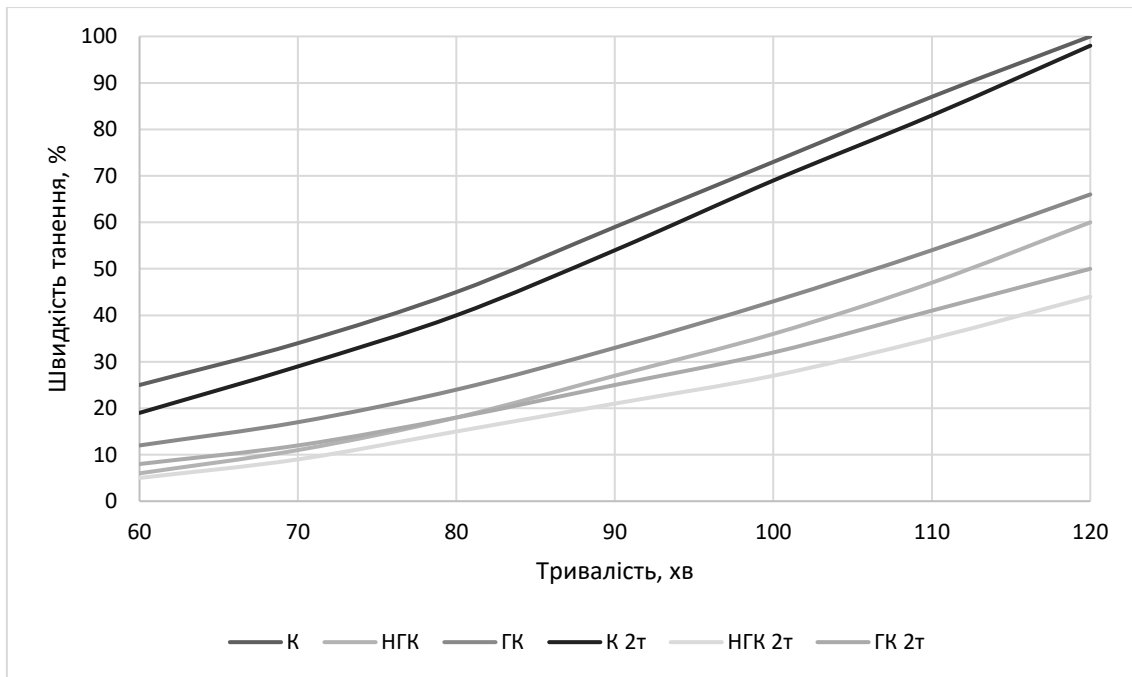


Рисунок 4.5 – Швидкість танення морозива (контроль (К), з негідролізованим (НГК) та гідролізованим (ГК) концентратами сироватки) після 24-х годин від виготовлення та 2-х тижнів (2 т)

З іншої сторони, вплив моносахаридів на стабільність структури морозива під час зберігання не є критичним та не призводить до суттєвого погіршення якості готового продукту, описаного (Arslaner, Salık, Özdemir, & Akköse, 2019; Whelan, Vega, Kerry, & Goff, 2008), що обумовлюється достатнім вмістом сироваткових білків, які зв'язують надлишкову вологу та запобігають надшвидкому таненню морозива (Young et al., 2007).

Наступним кроком було досліджено в'язкісно-швидкісні характеристики сумішей морозива з рідкими концентратами демінералізованої сироватки, які наведено у табл. 4.4. Ефективна в'язкість сумішей морозива нежирного на основі сироваткових концентратів наближена до значень цього показника, характерного для сумішей морозива з високим вмістом жиру (Syed, Anwar, Shukat, & Zahoor, 2018). Тобто, підвищений вміст сироваткових білків і сухих речовин сприяє додатковому структуруванню сумішей. Це нівелює відсутність жиру як структуруючого агента у складі морозива.

Таблиця 4.4 – В'язкісно-швидкісні характеристики сумішей морозива з концентратами демінералізованої сироватки ($p \leq 0,05$; $n=3$)

Морозиво	Ефективна в'язкість (мПа·с) за змінного градієнта швидкості зсуву			Час граничного руйнування структури ($\gamma = 1312,2 \text{ c}^{-1}$), хв	Ступінь відновлення структури, %
	$\gamma = 3 \text{ c}^{-1}$ (прямий хід)	$\gamma = 1312,2 \text{ c}^{-1}$	$\gamma = 3 \text{ c}^{-1}$ (зворотний хід)		
Контроль	254,8±9,3	8,1±0,2	84,7±0,9	1,9±0,0	33,2
НГК	652,2±15,6	26,0±1,1	403,2±11,8	6,6±0,2	61,8
ГК	601,0±11,8	20,0±1,0	350,3±10,5	5,5±0,2	58,2

За результатом порівняння значень ефективної в'язкості обох сумішей, слід відмітити деяке зниження структуруючої здатності суміші з гідролізованим концентратом, що, ймовірно, пов'язане з тим, що дисахариди більше впливають на в'язкість розчинів в присутності білків, порівняно з моносахаридів. Такий ефект науковці пояснюють загальноприйнятими механізмами взаємодії між молекулами цукру і білка у розчині (He et al., 2011). Підвищена ефективна в'язкість сумішей на основі сироваткових концентратів, порівняно з в'язкістю сумішей молочного нежирного морозива, у деякій мірі нівелює негативний вплив моносахаридів на опір таненню загартованого продукту (табл. 4.4). Водночас, занадто низька ефективна в'язкість нежирних і низькожирних сумішей стандартного складу не забезпечує належну стабілізацію утворених дисперсних систем морозива (He et al., 2011). Ефективна в'язкість відновленої структури сумішей з сироватковими концентратами виявляє виражену тиксотропну здатність за наявності підвищеного вмісту сироваткових білків. Такі суміші можна віднести до систем з вираженою коагуляційною структурою із тиксотропними властивостями.

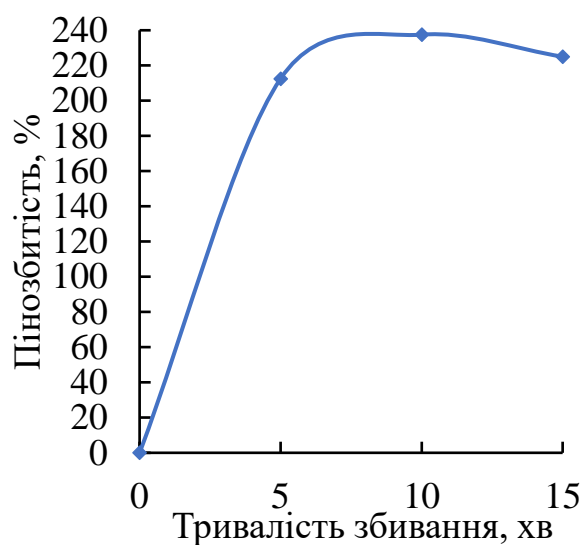
4.2. Вивчення можливості збагачення морозива білковими інгредієнтами

4.2.1. Реологічні характеристики сумішей морозива

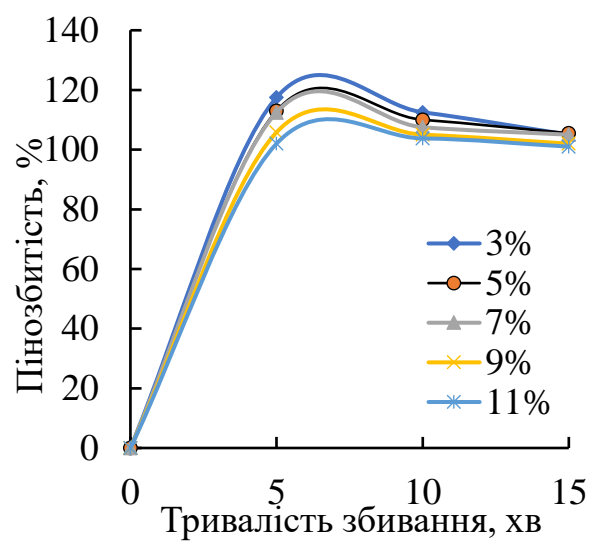
Одним з подальших напрямків удосконалення складу морозива на основі рідких концентратів сироватки є додаткове збагачення цього продукту білками різного походження. Так, відомо, що збагачення морозива білками до вмісту 7–8% є раціональним, оскільки це покращує текстуру продукту, суттєво знижує розміри кристалів льоду (Patel et al., 2006). Використання у складі морозива білкових технологічних інгредієнтів є доцільним й для підвищення піноутворюючих властивостей сумішей морозива та поліпшення ефективності процесу фризювання за рахунок рівномірного і дрібнодисперсного насичення повітрям та відповідного формування однорідної та кремоподібної структури продукту (Bahramparvar & Tehrani, 2011). Однак, високий вміст білка може призводити до зниження збитості морозива внаслідок занадто високої в'язкості сумішей (Roy et al., 2022). Саме тому існує необхідність дослідження впливу білків на якісні показники сумішей та морозива з метою визначення раціональної масової частки даних добавок для застосування у складі морозива ацидофільно-сироваткового.

Для дослідження у складі сироваткових сумішей було обрано ізолят сироваткових білків, концентрат сироваткових білків, концентрат міцелярного казеїну, ізолят соєвого білка. Були застосовані діапазони вмісту білкових добавок від 3% до 11% з кроком у 2%, що сприяло встановленню рівня забезпеченості білком у продукті від 14,71 до 27,55% і дає право вважати такий продукт збагаченим білком (понад 12%) або джерелом білку (понад 20%) (Regulation (EC) No 1924/2006).

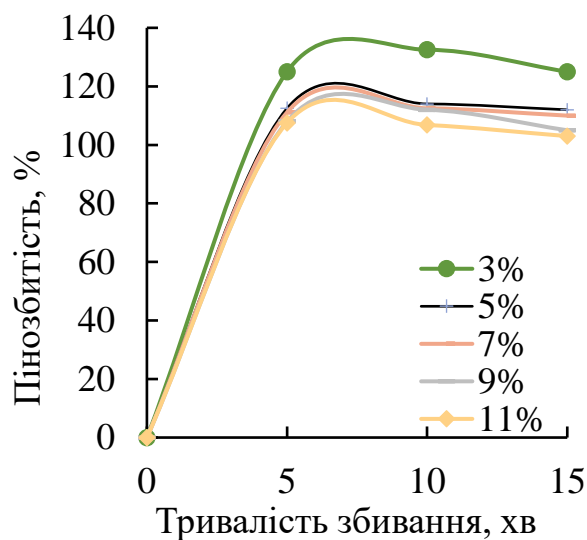
Вплив білкових інгредієнтів за їх варійованого вмісту від 3 до 11% на пінозбитість сумішей морозива на основі рідких концентратів сироватки наведено на рис. 4.6 та 4.7. Дані щодо стабільності отриманих пін наведені у табл. 4.5 та 4.6.



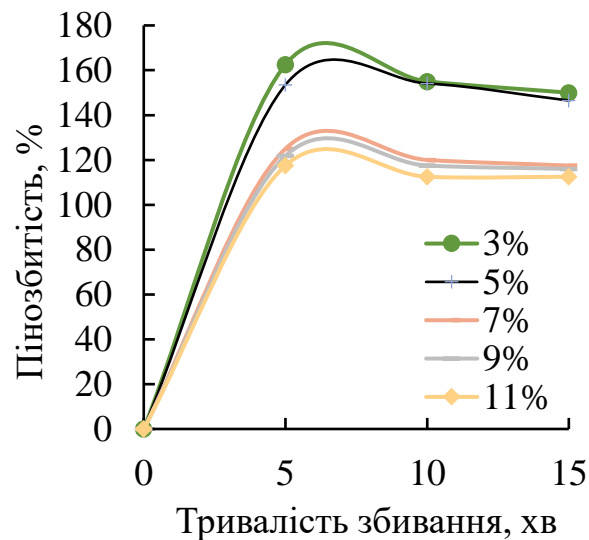
а



б



в



г

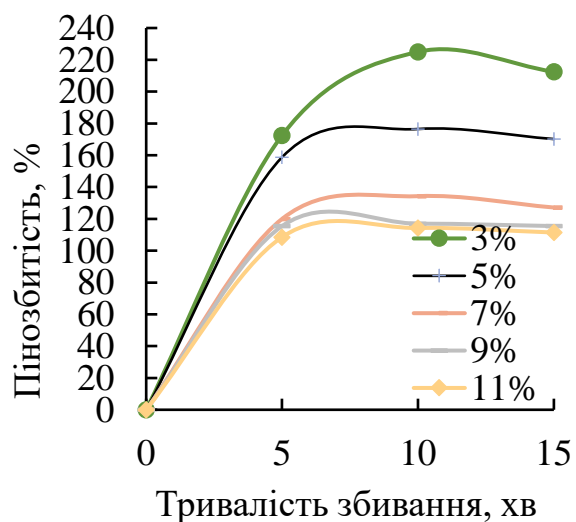
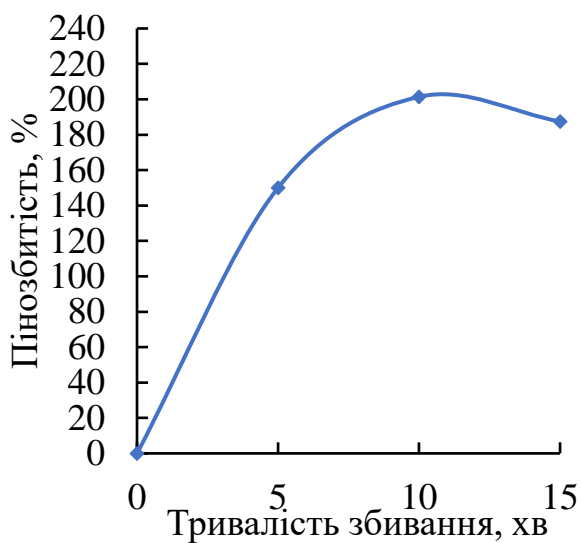
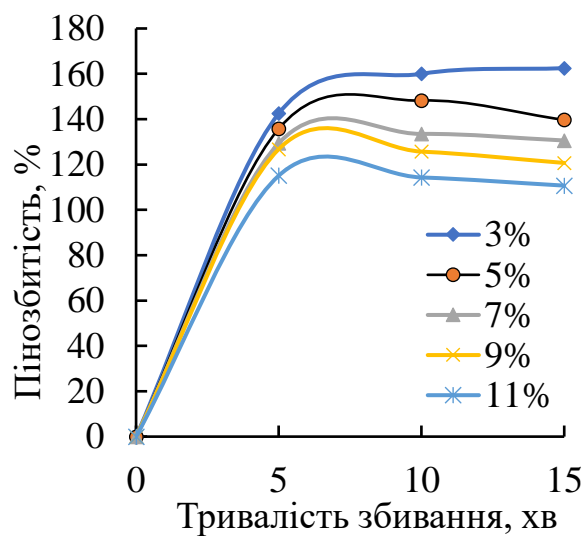


Рисунок 4.6 – Пінозбитість сумішей морозива на основі негідролізованого концентрату сироватки з білковими добавками за їх варійованого вмісту від 3 до 11% : а – контроль; б – ізолят соєвих білків; в – концентрат міцелярного казеїну; г – концентрат сироваткових білків; д – ізолят сироваткових білків

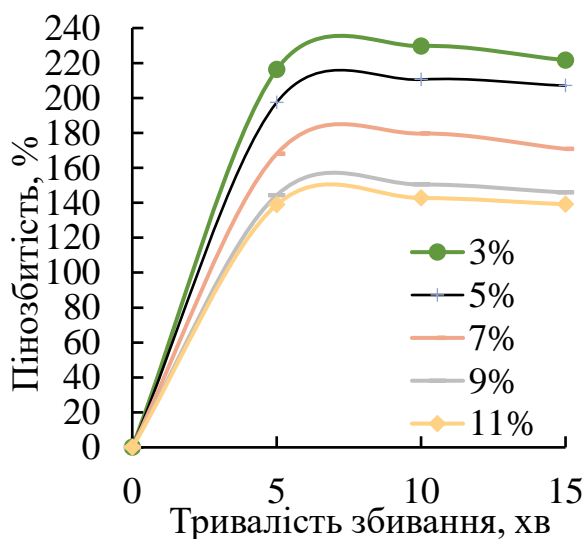
Д



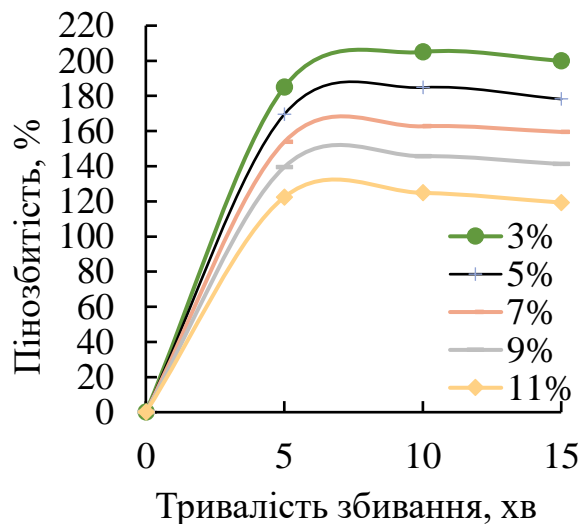
а



б



в



г

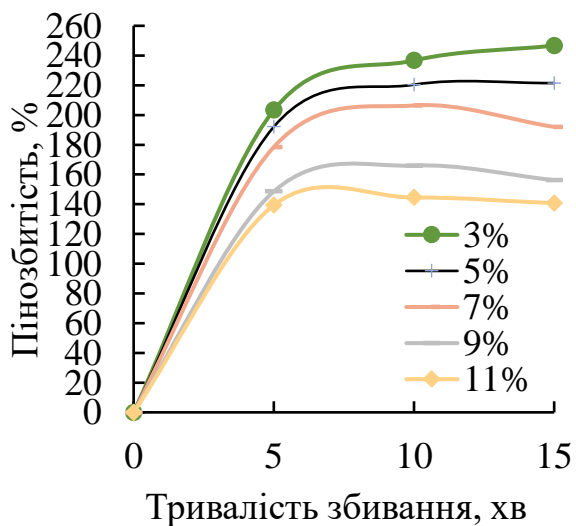


Рисунок 4.7 – Пінозбитість сумішей морозива на основі гідролізованого концентрату сироватки з білковими добавками за їх варійованого вмісту від 3 до 11% : а – контроль; б – ізолят соєвих білків; в – концентрат міцелярного казеїну; г – концентрат сироваткових білків; д – ізолят сироваткових білків.

Д

Таблиця 4.5 – Піностійкість сумішей з негідролізованим концентратом сироватки та білковими добавками ($p \leq 0,05$; $n=3$)

Суміш морозива	Масова частка білкової добавки, %	Тривалість збивання, хв		
		5	10	15
Контроль	0	46,2±1,5	54,8±1,9	49,5±1,8
З ізолятом соєвих білків	3	42,2±1,7	43,2±1,3	41,8±1,1
	5	36,2±1,1	38,7±1,0	36,5±1,4
	7	30,4±1,1	32,6±1,5	35,0±1,8
	9	30,1±0,9	31,8±1,1	32,6±1,2
	11	28,5±0,9	27,4±0,9	27,6±0,8
З концентратом міцелярного казеїну	3	44,5±1,2	49,0±1,5	47,1±1,5
	5	43,1±1,0	45,4±1,3	46,3±0,9
	7	40,5±1,0	41,6±1,4	43,4±0,9
	9	36,4±0,9	37,7±1,1	36,6±1,2
	11	30,4±1,2	32,6±1,1	32,8±1,2
З концентратом сироваткових білків	3	42,7±1,8	44,4±1,3	44,1±1,0
	5	35,9±1,2	37,8±1,3	38,1±0,9
	7	33,6±1,2	35,0±1,3	35,2±1,4
	9	31,8±1,2	32,5±1,2	31,9±1,2
	11	28,8±1,0	29,3±0,9	28,7±0,8
З ізолятом сироваткових білків	3	47,7±1,7	50,2±1,5	52,4±1,8
	5	43,5±1,8	48,6±1,9	59,3±1,2
	7	42,1±1,1	43,4±1,6	53,8±1,8
	9	39,0±1,1	40,1±1,5	42,0±1,6
	11	36,5±1,3	38,0±1,2	34,0±1,2

Таблиця 4.6 – Піностійкість сумішей з гідролізованим концентратом сироватки та білковими добавками ($p \leq 0,05$; $n=3$)

Суміш морозива	Масова частка концентрату або ізоляту білка, %	Тривалість збивання, хв		
		5	10	15
Контроль	0	44,8±1,6	49,5±1,5	48,1±1,3
З ізолятом соєвих білків	3	41,0±1,8	42,2±1,1	42,8±1,8
	5	34,4±1,4	36,7±1,2	38,5±1,6
	7	32,4±1,1	34,6±1,1	35,0±0,8
	9	29,1±0,8	30,8±1,2	32,8±1,0
	11	28,2±0,5	29,4±1,2	31,6±0,9
З концентратом міцелярного казеїну	3	46,9±1,5	55,8±1,3	54,9±2,5
	5	44,1±1,2	45,7±1,8	48,5±1,6
	7	39,8±0,7	40,6±0,8	38,3±1,2
	9	37,0±0,7	38,8±1,3	40,2±1,1
	11	32,8±1,0	34,5±0,9	35,9±0,3
З концентратом сироваткових білків	3	44,8±1,1	46,3±1,6	46,2±0,9
	5	37,8±0,8	39,5±1,2	38,7±0,8
	7	35,1±0,5	36,4±1,3	35,8±1,1
	9	32,5±0,9	33,6±1,0	31,4±1,5
	11	29,5±1,1	30,2±0,6	30,0±0,6
З ізолятом сироваткових білків	3	48,4±1,7	58,4±2,2	61,9±2,4
	5	45,9±1,8	57,6±2,5	59,3±2,0
	7	44,8±0,1	55,7±2,4	53,8±0,8
	9	41,3±1,9	44,2±1,2	42,0±1,4
	11	38,4±1,0	39,6±1,2	38,0±0,5

Найменшу технологічну ефективність у складі морозива з концентратами сироватки виявляє ізолят соєвого білка, незалежно від масової частки даної добавки. Shao, Lin, & Као (2016) повідомляли про обмежену здатність соєвих концентратів та ізолятів до піноутворення через специфічну структуру, що обумовлює необхідність попередньої підготовки, наприклад, гідротермічним способом. Також, можливою причиною зниження пінозбитості сироваткових сумішей (рис. 4.6 та 4.7) може бути висока вологоутримуюча здатність ізоляту соєвих білків, що формує еластичну сітку гелю, яка не відрізняється особливою міцністю (Zhang et al., 2024).

Міцелярний казеїн (3%) підвищує пінозбитість у дещо більшій мірі, ніж ізолят соєвого білка, однак, це значення є набагато меншим за отримані результати для контрольної суміші у разі застосування негідролізованого концентрату сироватки (рис. 4.8). У складі морозива з гідролізованим концентратом міцелярний казеїн при збиванні перших п'ять хвилин забезпечував найвищу пінозбитість серед усіх білкових інгредієнтів, однак при подальшому збиванні протягом 10 хв це значення було меншим ніж за використання 3% ізоляту сироваткових білків, а після 15 хв воно знижувалося, в той час як для ізоляту сироваткових білків навпаки збільшувалося. Відомо, що міцелярний казеїн володіє піноутворювальною здатністю (Zhao et al., 2022), однак внаслідок нестабільності утворених бульбашок через слабшу міжфазну еластичність казеїну це не забезпечує формування міцних зв'язків, що утворюють щільну білкову матрицю (Sato et al., 2021), подібних для систем з ізолятом сироваткових білків, що також підтверджують отримані значення пінозбитості (табл. 4.5 та 4.6).

Пінозбитість сумішей з концентратом міцелярного казеїну є дещо вищою, ніж у випадку використання концентрату сироваткових білків, що може обґрунтуватися вищою еластичністю зв'язків, що формують білки міцелярного

казеїну. Повідомлялося, що міцелярний казеїн (1,5% і 2,5%) у складі вершків продемонстрував високу стабільність при збиванні, що можна пояснити вищим рівнем міжмолекулярної взаємодії, у порівнянні з іншими білковими добавками (Li, Li, Yuan, Wang, Li, & Zhang, 2020). Hogan, Chaurin, O'Kennedy, & Kelly (2012) встановили, що міцелярний казеїн забезпечує більш пластичну структуру у батончиках протягом усього терміну придатності, на відміну від концентрату сироваткових білків та ізоляту сироваткових білків, використання яких збільшувало твердість продукту. Водночас, Long, Zhao, Sun-Waterhouse, Lin, & Zhao (2016) повідомляли, що часткова заміна казеїнату натрію концентратом сироваткових білків покращувала пінозбитість збитих вершків, проте знижувала пінозбитість.

Концентрат сироваткових білків (3–5%) має помірну технологічну ефективність і забезпечує пінозбитість сумішей на рівні 153,5–162,5% після 5 хв збивання та 146,5–150,0% після 15-ти хв збивання (рис. 4.6). Однак, його дія є помітнішою, порівняно з міцелярним казеїном та ізолятом соєвих білків, адже він суттєвіше підвищував пінозбитість та пінозбитість, порівняно з контролем (рис. 4.6, табл. 4.5).

Ізолят сироваткових білків (3–5%) демонструє найбільшу технологічну активність у складі сироваткових сумішей. Використання 3% добавки наближує значення пінозбитості до значень контрольної суміші у випадку використання негідролізованого концентрату та значно перевищує значення контрольного зразку за використання гідролізованого концентрату. Пінозбитість сумішей з ізолятом сироваткових білків зростає після 5-ти хв збивання та знижується при збиванні довше 10 хв, окрім зразків з гідролізованим концентратом сироватки, що може пояснюватися нижчою в'язкістю сумішей за рахунок наявності продуктів гідролізу лактози (Özdemir et al., 2008; Özdemir et al., 2018), а також дещо нижчим вмістом цукру, що зазвичай виступає в сумішах морозива компонентом, який підвищує в'язкість (Romulo et al., 2020).

Lee & Duggan (2022) встановили, що пінозбитість нативних сумішей з ізолятом сироваткових білків є значно вищою за мікрогелі з WPI, проте їх

піностійкість дещо нижча. У цьому дослідженні ми спостерігали значне підвищення і пінозбитості, і піностійкості сумішей морозива сироваткового, що пов'язано з тим, що суміш морозива є багатоконпонентною системою, синергічні взаємодії інгредієнтів у якій можуть значно впливати на її реологічні властивості. Також присутність і концентрація сахарози у водній фазі може впливати на реологічну поведінку ізоляту сироваткових білків у сумішах морозива (Raikos et al., 2007). Відомо, що додавання сахарози може зменшити розтікання піни та підвищити її стабільність, однак вона також здатна змінювати в'язкість об'ємної фази та міжфазну реологію і, отже, покращувати стабільність вологих пін (Yang & Foegeding, 2010). Водночас, сахароза не завжди позитивно впливає на еластичні зв'язки ІСБ у сумішах та несуттєво впливає на показник піностійкості (Davis & Foegeding, 2007).

Також відомо, що поєднання сироваткових білків з моносахаридами забезпечує значне підвищення піноутворюючих властивостей сумішей. Puangmanee et al. (2008) порівнювали вплив звичайного ізоляту сироваткових білків та глікованих його видів різними моносахаридами на реологічні властивості сумішей. Ними встановлено, що присутність д-глюкози, д-фруктози, д-аллози та д-психози додатково підвищує піностійкість та пінозбитість сумішей при чому це значення лише збільшується у проміжку збивання від 15 до 30 хв (Puangmanee et al. (2008). Це дає змогу припустити, що присутність високої кількості моносахаридів у сумішах морозива з гідролізованим концентратом сироватки виявляє синергічну дію разом із ІСБ.

За підвищення масової частки ізоляту сироваткових білків до 5% відбувається зниження пінозбитості, що особливо помітно для сумішей з негідролізованим концентратом сироватки. Проте, ізолят сироваткових білків забезпечував найбільшу стабільність збитих сироваткових сумішей, що тільки зростала зі збільшенням тривалості збивання, в той час як для більшості зразків з іншими білками вона зменшувалася після 10-ти хв збивання.

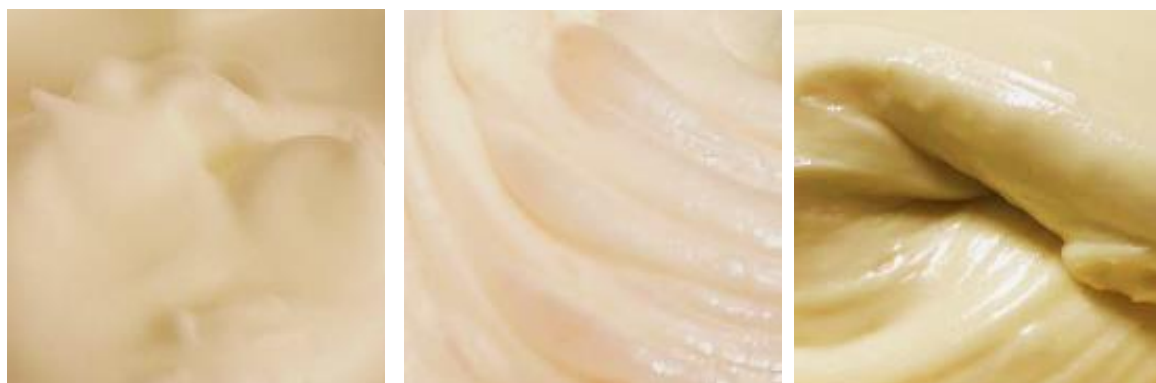
Xinqi Zhao et al. (2022) при дослідженні водних розчинів з ізолятом сироваткових білків, що були оброблені ультразвуком, встановили підвищення їх

пінозбитості від 60,06% до 143%. В нашому випадку отримані значення були значно більшими, що пов'язано із дослідженням багатокомпонентних сумішей морозива. Однак, гомогенізація під тиском також може частково підвищувати піноутворюючі властивості сумішей (Jambrak et al., 2008).

Abirached et al. (2012) встановили, що піни з ізолятом сироваткових білків мають більшу піноутворювальну здатність не лише завдяки вищій розчинності та гідрофобності поверхні, але й тому, що вони мають більш когезійну плівку на межі «повітря-вода», що підтверджено дослідженнями міжфазної реології. Утворення стійкої міжфазної плівки призводить до підвищення здатності утримувати велику кількість вологи, а також формувати під час збивання суміші дрібнодисперсні та стійкі у часі бульбашки повітря.

Таким чином, вплив білкових інгредієнтів на піноутворюючі властивості сумішей є доволі різним в залежності від способу одержання та хімічного складу досліджуваних систем, що обумовлює необхідність вивчення індивідуально кожної системи. Однак, інгредієнтами, що виявляють найбільші піноутворюючі властивості у складі морозива на основі рідких концентратів сироватки є міцелярний казеїн (3%), концентрат сироваткових білків (3% за використання гідролізованого концентрату та 3–5% для негідролізованого), ізолят сироваткових білків (3–5%).

Зовнішній вигляд збитих сироваткових сумішей із найвищою збитістю і піностійкістю, наведено на рис. 4.10 та 4.11.



а

б

в

Рисунок 4.10. Збиті суміші сироваткового морозива з гідролізованим концентратом: а – контроль, б – 3% концентрат міцелярного казеїну, в – 3% ізолят сироваткового білка.

За результатами дослідження піноутворюючих властивостей сироваткових сумішей було обрано найкращі зразки з кожною із білкових добавок для визначення в'язкісно-швидкісних характеристик цих систем (табл. 4.7).

Таблиця 4.7 – В'язкісно-швидкісні характеристики сироваткових сумішей з білковими добавками ($p \leq 0,05$; $n=3$)

Суміш морозива	Ефективна в'язкість (мПа·с) за змінного градієнта швидкості зсуву			Час граничного руйнування структури ($\gamma = 1312,2 \text{ с}^{-1}$), хв	Ступінь відновлення структури, %
	$\gamma = 3 \text{ с}^{-1}$ (прямий хід)	$\gamma = 1312,2 \text{ с}^{-1}$	$\gamma = 3 \text{ с}^{-1}$ (зворотний хід)		
Суміші на основі негідролізованого концентрату сироватки					
Контроль	580,1±10,4	23,2±0,6	280,8±6,3	4,9±0,1	46,8
3% ІСОБ	580,5±11,1	20,4±0,2	255,8±1,8	4,4±0,2	45,6
3% КМК	611,4±15,9	23,8±0,8	301,8±10,5	5,0±0,2	49,4
3% КСБ	618,2±12,4	23,5±0,7	304,2±9,7	5,1±0,1	49,2
5% КСБ	620,1±11,3	22,9±1,0	315,4±9,4	4,7±0,2	50,9
3% ІСБ	631,4±13,8	26,8±1,2	350,0±3,0	5,8±0,2	55,4
5% ІСБ	640,4±9,8	26,5±0,9	408,5±12,6	5,6±0,1	63,8
Суміші на основі гідролізованого концентрату сироватки					
Контроль	601,0±11,8	20,0±1,0	350,3±10,5	5,5±0,2	58,2
3% ІСОБ	569,1±10,5	41,8±1,1	323,8±7,4	5,3±0,1	56,8
3% КМК	650,1±15,7	46,1±2,2	430,0±13,0	6,7±0,3	66,1
5% КМК	636,9±14,5	45,6±1,4	407,2±11,1	6,4±0,1	63,9
3% КСБ	657,7±9,2	38,4±1,7	394,5±4,8	5,9±0,2	59,9

3% ІСБ	676,1±12,6	49,7±2,1	488,4±17,2	7,5±0,2	72,2
5% ІСБ	623,4±17,4	47,4±1,1	421,4±12,6	7,2±0,3	67,6

Примітка. ІСОБ – ізолят соєвого білка; КМК – концентрат міцелярного казеїну; КСБ – концентрат сироваткових білків; ІСБ – ізолят сироваткових білків.

Високий вміст сухих речовин у сумішах морозива забезпечував доволі високу тиксотропну здатність навіть для контрольних зразків (46,8–58,2%). У разі застосування білкових інгредієнтів (концентрату міцелярного казеїну, концентрату сироваткових білків, ізоляту сироваткових білків) тиксотропність підвищувалася від 46,8% до 49,4–63,8% для сумішей на основі негідролізованого концентрату та від 58,2% до 62,6–72,2% для сумішей на основі гідролізованого концентрату (табл. 4.7).

Ізолят сироваткових білків виявляв найбільшу здатність до відновлення сироваткових сумішей морозива, що пов'язано із його високою розчинністю (Tavares et al., 2019), а також формуванням еластичних зв'язків, які підвищують міцність гелевої мережі, стимулюючи утворення більш інтенсивних міжмолекулярних взаємодій. Міцелярний казеїн також здатен до формування гелевої сітки (Zhao et al., 2022), проте вона є не настільки міцною, як за використання ізоляту сироваткових білків (de Castro et al., 2017). Водночас концентрат сироваткових білків, хоч і виявляє тиксотропну здатність, але вона менша, ніж у разі застосування міцелярного казеїну та ізоляту сироваткових білків, що обумовлюється нижчим ступенем його очищення.

Ізолят соєвих білків погіршував реологічні характеристики сумішей. Незважаючи на високу здатність до абсорбування вологи, він формує недостатньо стабільну сітку гелю, що після руйнування виявляє меншу здатність до самочинного відновлення структури. Про тенденцію до погіршення реологічних властивостей сумішей при використанні ізоляту соєвих білків повідомляли й інші вчені (Zhang et al., 2021). Ізолят соєвих білків, порівняно з іншими обраними білковими інгредієнтами, не здатен формувати енергетичні зв'язки, які після руйнування структури виявляють активне відновлення структури.

Beliciu, & Moraru (2011) встановили, що у білкових сумішах гелеутворення відбувається при концентрації соєвого білка понад 7,5% і температурі обробки вище 80°C. Ними виявлено, що на в'язкість міцелярного казеїну термічна обробка істотно не впливає, але збільшення концентрації цієї білкової добавки підвищує в'язкість і межу текучості сумішей. Концентрації даних білків у водних сумішах на рівні 7,5–12,5% з використанням обробки при температурі понад 90°C призводили до поділу фаз, низької в'язкості і низької межі текучості, тоді як концентрації понад 15%, за теплової обробки при 90°C, продемонстрували агрегацію білків та початкове утворення сітки гелю (Beliciu, & Moraru, 2011). Очевидно, що у даному дослідженні концентрація як міцелярного казеїну, так і ізоляту соєвого білка у сироваткових сумішах була значно меншою, як і температура теплового оброблення. Спільно ці чинники не дозволяють отримати значного ефекту від використання міцелярного казеїну, а у випадку ізоляту сироваткових білків – уникнути погіршення в'язко-пружної поведінки.

Maltais, Romondetto, & Subirade (2009) за допомогою трансмісійної електронної мікроскопії встановили, що ниткоподібні сітки гелю, а також часткові гелі, що складається з безперервної тривимірної мережі з'єднаних частинок сітки в гелях, пов'язані з міцністю утворених гелей. Соєві білки формують гідрогелі, що мають більшу еластичність, в той час як ниткоподібні сітки гелю, сформовані сироватковими білками, підвищують в'язкість та формують сітку гелю у всьому об'ємі харчової системи (Liang et al., 2020).

Onwulata, Tunick, & Mukhopadhyay (2014) встановили, що міра стану «твердий-рідкий» дає змогу констатувати про приналежність ізоляту соєвого білка до твердих речовин, тоді як ізоляту сироваткових білків – до речовин, подібних до рідин. Даний факт пояснює зниження здатності до відновлення суміші при застосуванні ізоляту соєвого білка, в той час як використання навіть вищих концентрацій ізоляту сироваткових білків (5%) дозволяє досягти технологічного ефекту.

На думку інших вчених розчинність білків, особливо в багатокомпонентних системах, має першочергове значення щодо впливу на реологічну поведінку, а

саме на процес гелеутворення та в'язкопружні властивості (Pelegrine, & Gasparetto, 2005). Розчинність ізоляту сироваткових білків є однією з найвищих та для необроблених білкових розчинів складає близько 95–100% (Onwulata, Tunick, & Mukhopadhyay, 2014).

Не менш важливу роль у поліпшенні реологічних властивостей сумішей може відігравати теплова обробка. У змішаній білковій системі, що складалася з желатину та ізоляту сироваткових білків, гелі були дуже слабкими без температурного оброблення, а от за нагрівання до 85°C показники концентрації та в'язкості збільшувалися (Fitzsimons, Mulvihill, Morris, 2008). У нашому дослідженні температура пастеризації сумішей була аналогічною, що може бути додатковим фактором впливу на підвищення в'язкості у системах з ізолятом сироваткових білків.

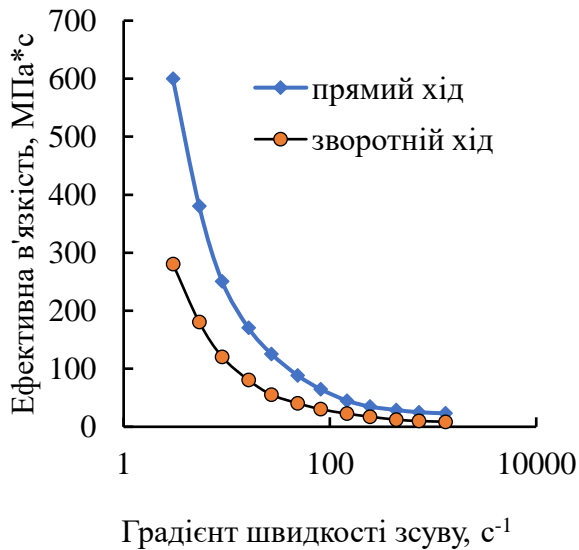
Отримані значення в'язкості корелюють з показниками пінозбитості та піностійкості, підтверджуючи закономірність зниження даного показника у сумішах з високим вмістом моносахаридів (глюкоза, галактоза). Akalin et al. (2008) повідомляли, що додавання 4% ІСБ призвело до надмірного згущення та гелеутворення морозива за різкого збільшення в'язкості суміші для морозива. В іншому дослідженні повідомлялося, що поєднання ІСБ з полісахаридами значно підвищує в'язкість сумішей морозива, що в цілому позитивно впливає на його якість (Saentaweasuk and Chaikham, 2023).

Підсумовуючи, потрібно зазначити, що певні протиріччя у науковій літературі щодо впливу білкових добавок на реологічну поведінку харчових систем пов'язані, в першу чергу, з їх хімічним складом. Так, суміш морозива є багатокомпонентною системою, вплив окремих складових якої може варіюватися залежно від умов технологічної підготовки та обраної концентрації.

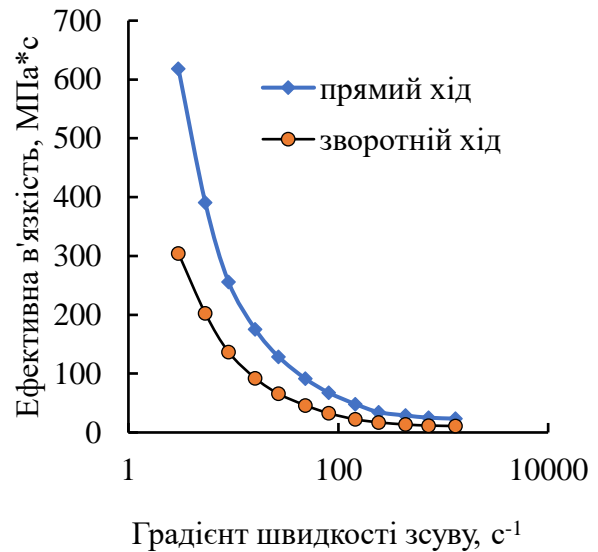
Динаміку зміни ефективної в'язкості на прикладі зразків, які виявляють найвищу тиксотропність, наведено на рис. 4.10 та 4.11.

Аналіз реограм течії дослідних сумішей вказує на помітну здатність сироваткових білків до формування коагуляційної структури з вираженими тиксотропними властивостями, що за підвищення ступеня очистки білків

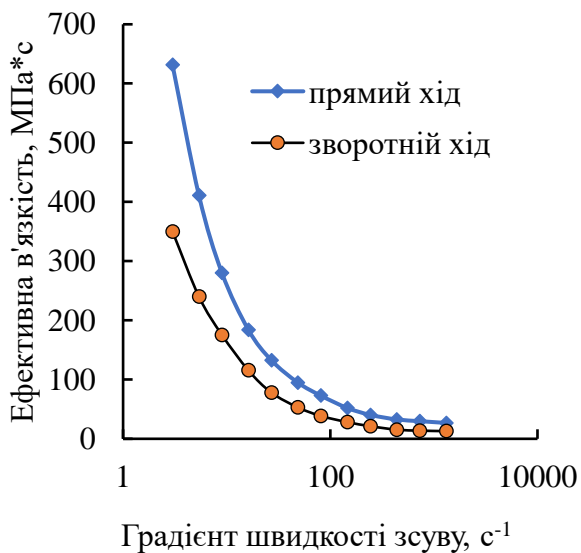
збільшується. Ізолят сироваткових білків (3–5%) демонструє найбільше відновлення структури, проте за найвищої масової частки (5%) відбувається дещо надмірне структурування суміші за рахунок підвищення ефективної в'язкості системи, що особливо помітно для суміші на гідролізованому концентраті.



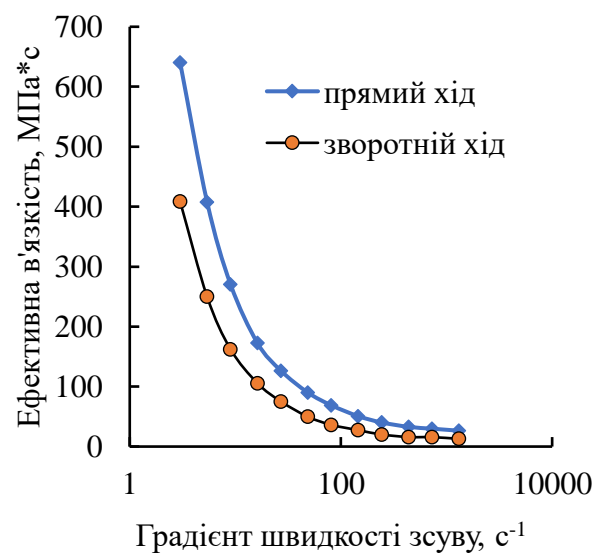
а



б



в



г

Рисунок 4.10 – Реограми течії сироваткових сумішей на основі негідролізованого концентрату сироватки: а – контроль; б – 3% концентрат

сироваткових білків; в – 3% ізолят сироваткових білків; г – 5% ізолят сироваткових білків

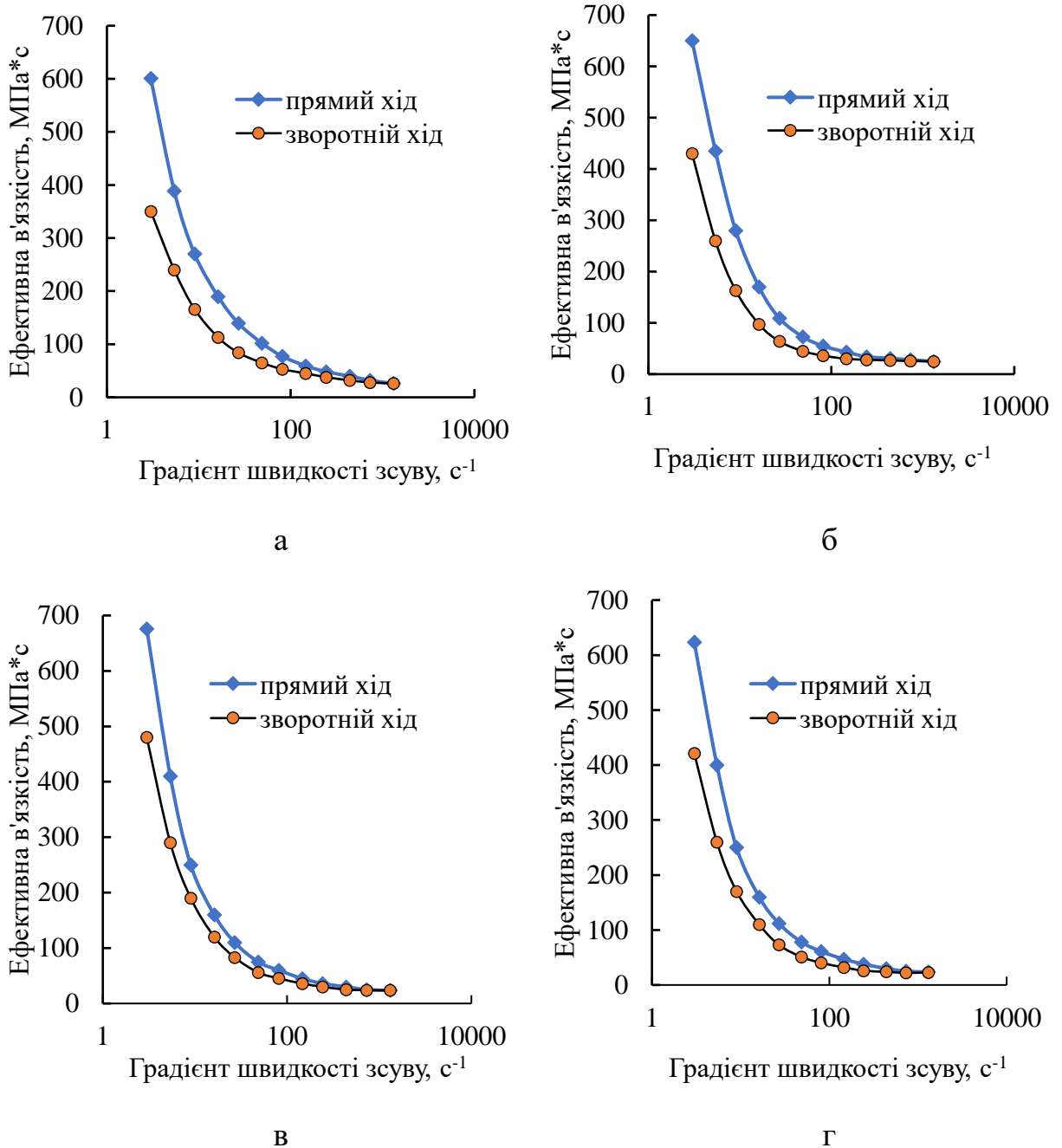


Рисунок 4.11 – Реограми течії зразків сумішей морозива сироваткового на основі гідролізованого концентрату сироватки: а – контроль, б – 3% міцелярний казеїн, в – 3% ізолят сироваткових білків, г – 5% ізолят сироваткових білків

Цей ефект можна пояснити специфічними функціональними властивостями сироваткових білків, зокрема їхньою здатністю утворювати просторову коагуляційну структуру, здатну до самочинного відновлення структури після зруйнування за наявності чисельних низькоенергетичних зв'язків.

Концентрат сироваткових білків (3%) хоч і поліпшує здатність до відновлення сироваткової суміші у порівнянні з контрольним зразком, але його дія є доволі помірною. Концентрат міцелярного казеїну у кількості 3% призводить до більш ефективного відновлення структури харчових систем, ніж для контрольного зразку (рис. 4.11).

Порівнюючи вплив сироваткових добавок на реологічні властивості сироваткових сумішей, найбільш доцільним є подальше дослідження в їх складі властивостей ізоляту сироваткових білків за масової частки 3% (для сумішей на основі негідролізованого концентрату) та 3–5% (для сумішей на основі гідролізованого концентрату). Обрана концентрація даного інгредієнту дозволяє досягти максимального технологічного ефекту та містить вищий вміст білка на відміну від інших білкових добавок.

4.2.2. Вплив ізоляту сироваткових білків на фізико-хімічні та мікробіологічні показники сумішей та морозива

На основі обґрунтування вмісту білкових інгредієнтів у складі морозива сироваткового було розроблено рецептурний склад зразків з метою подальшого їх дослідження (табл. 4.8).

Таблиця 4.8 – Рецептури дослідних зразків морозива сироваткового

Інгредієнти, %	Позначення зразків морозива				
	НКГ	НГК3%	ГК	ГК3%	ГК5%
Негідролізований концентрат демінералізованої сироватки	75,0	75,0	–	–	–
Гідролізований концентрат	–	–	75,0	75,0	75,0

демінералізованої сироватки					
Цукор білий кристалічний	11,0	11,0	9,0	9,0	9,0
Ізолят сироваткових білків 90%	–	3,0	–	3,0	5,0
Стабілізаційна система	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6

Продовження табл. 4.8

Активована закваска	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0
Ванілін	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Вода	10,39	7,39	12,39	9,39	7,39
Всього	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Примітка. НГК – морозиво на основі негідролізованого концентрату сироватки; НГК3% - морозиво на основі негідролізованого концентрату сироватки + 3% ізоляту сироваткових білків; ГК – морозиво на основі гідролізованого концентрату сироватки; ГК3% - морозиво на основі гідролізованого концентрату сироватки + 3% ізоляту сироваткових білків; ГК5% - морозиво на основі гідролізованого концентрату сироватки + 5% ізоляту сироваткових білків.

Закономірності кристалізації водної фази в морозиві визначає $t_{кр}$. На значення цього параметра впливає тип і концентрація розчинених у воді речовин (Marella, & Muthukumarappan, 2013). На думку деяких вчених, $t_{кр}$ сумішей з сахарозою не залежить від наявності гідроколоїдів (Herrera et al., 2007). Проте Buuoung, & Fennema (1998) довели, що збільшення вмісту гідроколоїду зменшує теплоту плавлення води в сумішах за рахунок її більшого зв'язування. Інформація науково-технічної літератури щодо $t_{кр}$ сумішей для морозива з різним хімічним складом є досить суперечливою, а її значення, розраховані за запропонованими вченими методиками (Marshall, Goff, & Hartel, 2013) для сумішей з однаковим складом, дають значні розбіжності.

Тому було досліджено вплив ІСБ на $t_{кр}$ у складі морозива ацидофільно-сироваткового. Крім того, визначено активність води та осмоляльність, яка є мірою концентрації розчинених речовин у розчині і показує скільки молей осмотично активних речовин розчинено в одиниці розчинника (табл. 4.9).

Для сумішей морозива на основі негідролізованого концентрату $t_{кр}$ є дещо вищою від зразків на основі гідролізованого концентрату, що пояснюється високим вмістом моносахаридів у останніх, внаслідок чого спостерігається депресія точки замерзання морозива (Koretska, Polyovyk, Maslikov, & Kuzmin, 2020).

Таблиця 4.9 – Термофізичні характеристики сумішей сироваткового морозива
($p \leq 0,05$; $n=3$)

Показник	Зразок				
	НГК	НГК3%	ГК	ГК3%	ГК5%
Кріоскопічна температура, °C	-2,88±0,01	-2,95±0,08	-2,39±0,01	-2,55±0,02	-2,71±0,05
Активність води, од.	0,955±0,02	0,941±0,03	0,912±0,01	0,905±0,01	0,896±0,02

Високий вміст сухих речовин у всіх зразках морозива знижує діапазон депресій $t_{кр}$ сумішей морозива у межах значень від -2.39 до $-2,95^{\circ}\text{C}$, що є подібним до результатів інших вчених, які досліджували низькожирне морозиво або з підвищеним вмістом білка (Tvorogova et al., 2023; Kozłowicz et al., 2021; Kot, Jakubczyk, & Kamińska-Dwórznička 2023; Landikhovskaya, & Tvorogova, 2021). Що стосується дослідження осмотичного тиску у водній фазі сумішей сироваткового морозива, то можна помітити (табл. 4.8) зменшення активності води у сумішах на основі гідролізованого концентрату сироватки. Безумовно, додавання ІСБ знижує активність води, але найсуттєвіший вплив на цей показник, на нашу думку, здійснює присутність моносахаридів, що мають вищу здатність до зв'язування вільної води, аніж сахароза (Fernández-Garía, McGregor, & Traylor, 1998). Так, зразки НГК, НГК3%, ГК, ГК3% можна віднести до систем з високою активністю води ($a_w = 1,0-0,9$), в той час як ГК5% до харчової системи

з проміжною вологістю ($a_w = 0,9-0,6$) (Belokurova, Pankina, Sevastianova, Asfondiarova, & Katkova, 2021). Безумовно, зниження активності води впливатиме на якісні показники морозива за рахунок зниження точки замерзання, що викликане гідролізом лактози у зразках ГК, ГК3% та ГК5%. Цей та інші впливи буде розглянуто далі.

Вода у морозиві знаходиться у зв'язаному та вільному стані (de Souza Fernandes, Leonel, Del Bem, Mischon, Garcia, & Dos Santos, 2017). Остання може виморожуватися у вигляді кристалів льоду за температур, нижчих за $t_{кр}$ (Cook, & Hartel, 2010). Під час зберігання продукту, навіть за незначних коливань температури, відбувається міграційна рекристалізація кристалів льоду та їхнє зрощування, що супроводжується зникненням дрібних кристалів і зростанням крупних (Kumar, Rasco, Tang, & Sablani, 2020). Рекомендована температура зберігання морозива становить не нижче, ніж від -16 до -25°C (Sitnikova, & Tvorogova, 2019), тому, навіть за незначних її коливань у морозиві з високим вмістом вільної води можливе виникнення грубокристалічної структури. Зміна фізичного стану водної фази морозива досить була детально вивчена багатьма вченими (Goff, 2013; Syed, Anwar, Shukat, & Zahoor, 2018; Leducq, Ndoye, & Alvarez, 2015), але застосування у його складі білкових інгредієнтів потребує додаткових досліджень. Білки, а також моно- та дисахариди, певною мірою, можуть впливати на $t_{кр}$ сумішей та, відповідно, на частку ω і структуру морозива. За значеннями $t_{кр}$ досліджених сумішей (табл. 4.8) було розраховано вміст вимороженої води у морозиві у діапазоні температур технологічної обробки від -5 до -40°C та встановлено, що частка ω при цьому досягала значень на початку і наприкінці виморожування від $42,40-52,20\%$ до $92,80-94,03\%$ відповідно (рис. 4.12).

Максимальну різницю кількості ω у досліджуваних зразках (до $9,8\%$) виявлено при температурі -5°C , але при подальшому зниженні температури різниця вимороженої води у морозиві знижувалася до $1,4\%$. Загалом, найсуттєвіше виморожування вільної води спостерігалось за температурного діапазону від криоскопічної температури до -10°C . За цих умов у зразках НГК,

НГК3% відбулося виморожування 70,5–71,2% води, а у зразках ГК, ГК3% та ГК5% до 72,9–76,1%, що свідчить про найсуттєвішу кріопротекторну активність моносахаридів у складі гідролізованого концентрату сироватки, у тому числі за сумісного використання з концентратом сироваткових білків.

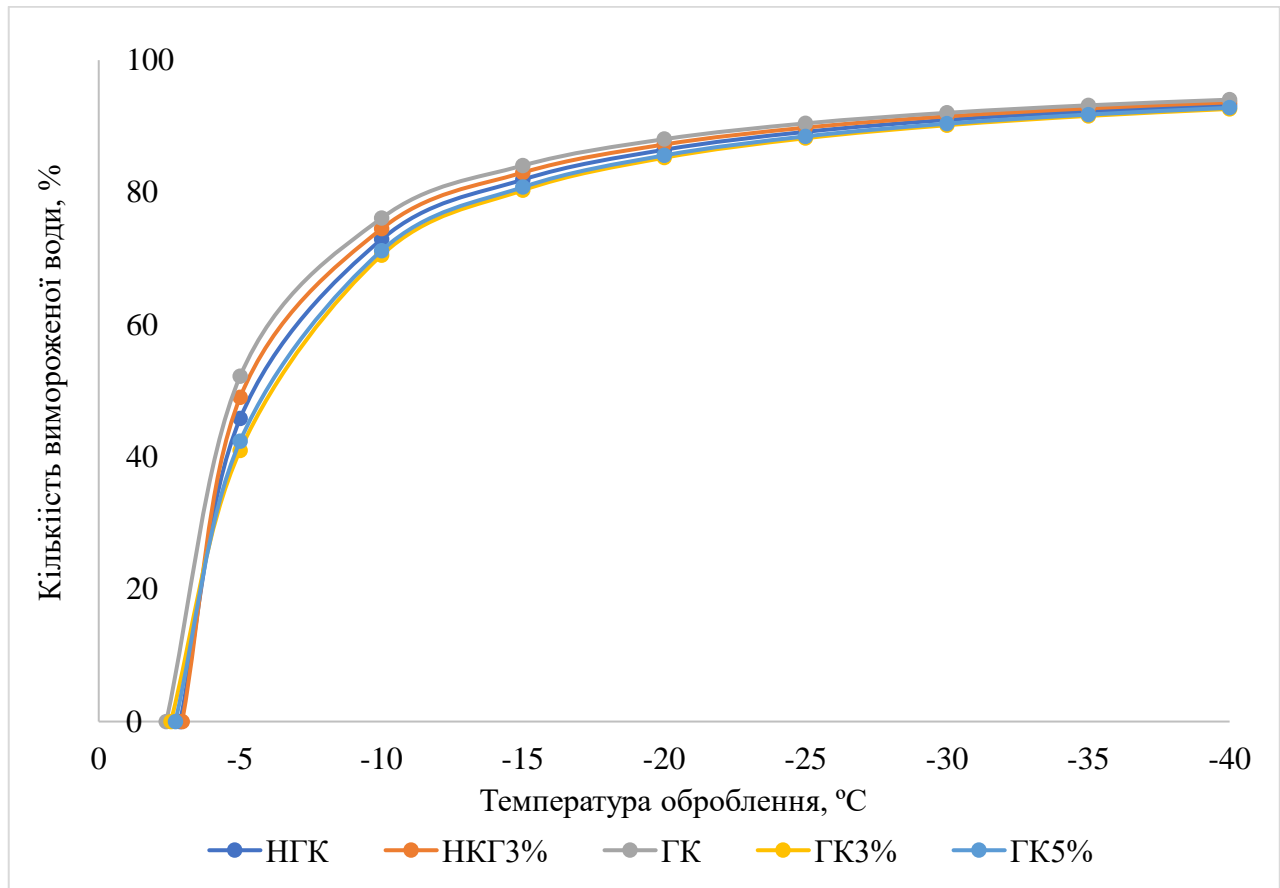


Рисунок 4.12 – Динаміка виморожування вільної води за різних режимів низькотемпературної обробки

Значна частина води (до 17,1–19,7%) продовжувала виморожуватися після досягнення сумішами температури -30 °C. Подальша зміна цього показника за температурного діапазону від -30 до -40 °C була доволі незначною. Отримані дані підтверджують характерну для морозива класичних видів динаміку виморожування води у морозиві на основі концентратів сироватки в умовах низьких температур під час фризювання сумішей і загартування та зберігання досліджуваних зразків.

На наступному етапі було досліджено параметри кольору для сумішей та морозива протягом 14 днів зберігання. З табл. 4.10 видно, що найменше значення білизни L^* ($p \leq 0.05$) було зафіксовано для ГК5%, що містив найбільшу кількість

доданого ізоляту сироваткового білку (5%), який надає продукту жовтий колір (Saentaweesuk, & Aukkanit, 2022).

Barros et al. (2021) також повідомляли про зниження білизни у зразках морозива від 87,65 до 82,45 одиниць в залежності від вмісту концентрованої сироватки (70–280 г на зразок морозива). Отримані значення L^* для всіх зразків морозива є нижчими за відомі результати у науковій літературі (Barros et al., 2021; de Meneses et al., 2020), що пояснюється вищим вмістом сироваткових інгредієнтів ніж в рецептурах відомих аналогів, а також відсутністю у даних зразках молока пастеризованого або сухого в якості сировинних компонентів, які надають білизни молочним продуктам за рахунок наявності колоїдних частинок, таких як кульки молочного жиру та міцели казеїну, що здатні розсіювати світло у видимому спектрі (García-Pérez et al., 2005). Протягом 14-ти днів зберігання значення білизни (L^*) у морозиві знижується, однак для зразків з гідролізованим концентратом сироватки цей процес протікає менш інтенсивно, що пов'язано із впливом гідролізу лактози, який підвищує білизну харчової системи (Skryplonek, Gomes, Viegas, Pereira, & Henriques, 2017). Значення параметрів a^* та b^* вказують на переважання зеленого та жовтого кольорів у продукті відповідно, що обумовлено характеристиками кольоровості сироватки та продуктів її переробки (Meneses et al., 2020; Barros et al., 2022; Moschopoulou, Dernikos, & Zoidou, 2021), які були основними компонентами у виробництві морозива для даного дослідження.

Зниження параметру b^* спостерігаються для ГК, тобто відбувається зниження інтенсивності жовтого кольору, що корелює із показником L^* , який навпаки збільшується для даного зразка морозива. Додавання ізоляту сироваткових білків до зразків на основі гідролізованого концентрату призводить до підвищення показника b^* , що означає посилення жовтизни. Barros et al. (2022) також повідомляли про зростання показника b^* від 16,27 до 18,02% при підвищенні масової частки концентрованої сироватки у складі морозива. Водночас, Meneses et al. (2020) встановили, показник b^* зростав від 57,64 до 60,92 одиниць при додаванні підсирної сироватки за різної масової частки.

Значна відмінність з отриманими результатами у даному дослідженні може бути пов'язана з проведенням гідролізу лактози у нашому випадку, а також типом сироватки що використовувався. В процесі зберігання ступінь забарвлення у зелений та жовтий кольори зростає для всіх зразків.

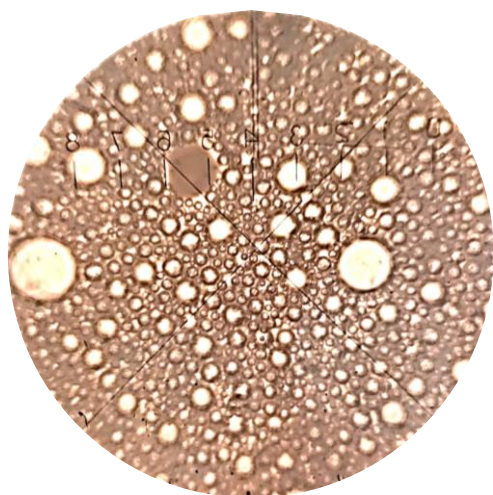
Таблиця 4.10 – Параметри кольору сумішей та морозива ($p \leq 0,05$; $n=3$)

Зразок			Параметри кольору				
			L*	a*	b*	C*	h°
НГК	суміш		72,80±1,08	-4,38±0,12	20,50±0,88	20,96±0,66	102,07±2,28
	морозиво	1 день	81,66±2,54	-4,09±0,04	20,16±0,50	14,73 ±0,05	101,50 ±2,05
		14 днів	76,81±1,27	-4,11±0,17	21,84±0,17	13,52 ±0,64	103,17 ±1,84
НГК3%	суміш		69,56±1,59	-3,61±0,09	20,18±0,01	20,37 ±0,95	100,24 ±1,10
	морозиво	1 день	82,78±2,22	-2,98±0,13	21,03±0,67	21,26 ±0,54	98,08 ±2,89
		14 днів	76,07±2,18	-3,05±0,01	21,56±0,94	20,90 ±0,96	98,99 ±2,17
ГК	суміш		79,03±2,01	-3,94±0,11	24,07±0,58	24,41 ±1,14	99,19 ±2,74
	морозиво	1 день	82,31±0,87	-2,42±0,10	14,55±0,69	20,57 ±0,71	99,11 ±2,54
		14 днів	80,98±1,85	-2,55±0,02	14,69±0,54	18,09 ±0,05	99,54 ±1,71
ГК3%	суміш		81,36±1,54	-3,17±0,13	24,43±0,47	24,66 ±1,19	97,46 ±0,86
	морозиво	1 день	83,25±1,73	-2,84±0,08	18,84±0,54	18,57 ±0,55	98,23 ±3,57
		14 днів	78,56±1,25	-2,91±0,11	19,63±0,07	18,08 ±0,76	99,07 ±2,60
ГК5%	суміш		77,20±1,89	-2,71±0,01	23,39±1,05	23,08 ±1,00	96,54 ±0,97
	морозиво	1 день	80,01±2,12	-3,30±0,13	21,58±0,68	21,84 ±0,58	98,33 ±1,18
		14 днів	77,88±2,57	-3,35±0,05	22,42±0,84	20,05 ±1,13	98,74 ±1,36

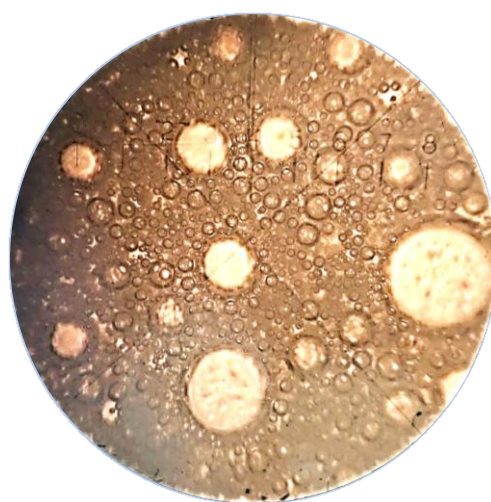
Примітка. 1 день, 14 днів – строк зберігання морозива.

Інтенсивність та чистота кольору (C^*) зростає для ГК, однак подальше додавання ізоляту сироваткових білків (ГК3% та ГК5%) зміщує цей параметр у бік сірих кольорів, тобто менш чистих та інтенсивного забарвлення. Протягом зберігання найбільше зниження показника C^* відбувається для НГК, що підкреслює нестабільність його кольору за низьких температур. Зразок НГК3% виявляє більшу стабільність до збереження чистоти та інтенсивності кольору. Значення відтінку (h°) за позицією у спектрі дає змогу встановити, що зразки морозива знаходяться між жовтим та зеленим кольором із переважанням у бік першого, що піддається кореляції з показниками a^* та b^* .

Аналіз мікроструктури зразків вказує на те, що ізолят сироваткового білка (3–5%) сприяє збільшенню розмірів повітряних бульбашок у морозиві, так само, як і негідролізований концентрат сироватки як основи для морозива (рис. 4.13). Зразок ГК характеризується більш дрібнодисперсним (середній діаметр бульбашок повітря – 6,4 мкм) та рівномірним розподіленням повітряної фази у товщі продукту, у порівнянні з НГК (середній діаметр бульбашок повітря – 8,8 мкм), що може пояснюватися вищим вмістом сухих речовин у останньому, а також дещо вищою в'язкістю внаслідок суттєвого вмісту лактози. Водночас, додавання 3% ізоляту сироваткових білків за поєднання з негідролізованим концентратом (НГК3%) приводить до утворення великих бульбашок повітря (діаметром до 12,5–24,1 мкм) внаслідок підвищеної в'язкості суміші морозива, що ускладнює її насичення повітрям під час процесу фризеравання. Ізолят сироваткових білків у зразках ГК3% та ГК5% також призводить до утворення більших бульбашок повітря, ніж у контрольних зразках (НГК, ГК), однак, їх чисельність є значно меншою, ніж для НГК3%. Окрім того, для вище згаданих зразків спостерігається значно більша кількість дрібнодисперсних бульбашок повітря, які виявляють здатність до агрегування між собою та концентрування навколо більших бульбашок повітря.



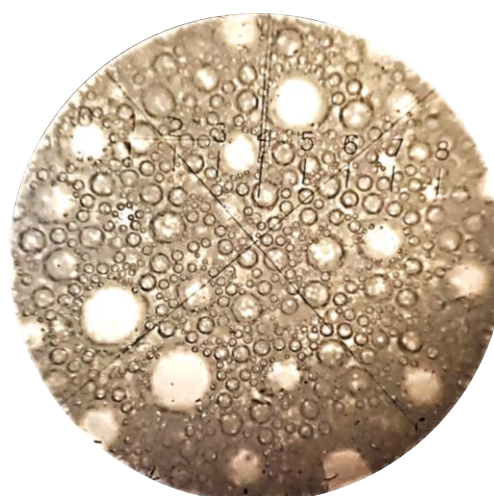
НГК



НГК3%



ГК



ГК3%



ГК5%

Рисунок 4.13 – Мікроструктура м'якого морозива за збільшення у 160 разів.

Ефект злипання бульбашок повітря та їх рівномірний розподіл у морозиві спостерігався вченими при використанні полісахаридів, білкових концентратів та ізолятів (Puangmanee, Hayakawa, Sun, & Ogawa, 2008, Goff, 2013; Qayum et al., 2023). У сироватковому морозиві розміри повітряних бульбашок залежать не тільки від виду сировини та компонентів, але й від масової частки сухих речовин. За нестачі сухих речовин сухого знежиреного залишку воно може мати структуру з включеннями великих повітряних комірок (Mykhalevych, Sapiga, Polishchuk, & Osmak, 2022), що призводять до вищої тепловіддачі та, відповідно, до зниження швидкості танення (Roy, Hussain, Prasad, & Khetra, 2022). Присутність моносахаридів у зразках НС, Н3% та Н5% опосередковано впливає на розподіл повітряної фази у товщі продукту (Zhang et al., 2018), насамперед за рахунок зниження в'язкості сумішей морозива, що збільшує їх сатурацію повітрям під час фризювання. El-Hadad, Tikhomirova, Tvorogova, Shobanova, & El-Aziz (2020) повідомляли, що на рівномірне розподілення бульбашок повітря у морозиві можуть впливати також емульгатори та стабілізатори. Водночас, опосередкований вплив може мати і гомогенізація під тиском сумішей морозива (Kot, Jakubczyk, & Kamińska-Dwórznicza, 2023), оскільки дрібнодиспергований жир приймає активну участь у стабілізації повітряних бульбашок (Arief, Andini, Rosyidi, & Radiati, 2023). У нежирному морозі, як у нашому випадку, стабілізаційну роль виконують сироваткові білки (Liu, Sala, & Scholten, 2023), високий вміст яких утворює структуру коагуляційного типу, що в подальшому призводить до високої збитості морозива після фризювання.

Щодо дослідження розмірів кристалів льоду у морозиві, то відомо, що їх рекомендований розмір не повинен перевищувати 50 мкм (Drewet & Hartel, 2007), однак утворення кристалів льоду розміром від 10 до 20 мкм, на думку деяких вчених, надають морозиву належної гладкості і кремоподібності (Kamińska-Dwórznicza, 2016; Kamińska-Dwórznicza, Łaba, & Jakubczyk, 2022), тоді як кристали льоду розміром понад 50 мкм надають продукту небажаної грубокристалічної текстури (Arellano et al., 2011; Kamińska-Dwórznicza et al., 2015). Менший за 20 мкм діаметр кристалів виявлений у морозиві після 24-х

годин витримання у морозильній камері, що може сприяти стабілізації кристалічної структури під час більш тривалого зберігання продукту, що потрібно перевірити експериментально у подальших дослідженнях. Таблиця 4.11 чітко демонструє зміни в еквівалентному діаметрі кристалів льоду для досліджуваних зразків. Зразки ГК3% та ГК5% характеризуються кристалами з найменшими розмірами в діапазоні 12,23–13,18 мкм (табл. 4.11, рис. 4.14), що відповідає середньому діаметру кристалів льоду у молочному морозиві, стабілізованому спеціальними кріопротекторами (Kamińska-Dwórznicza, Łaba, & Jakubczyk, 2022).

Таблиця 4.11 – Порівняння розмірів кристалів льоду після 24 годин зберігання за температури -18°C ($p \leq 0,05$; $n=3$)

Зразок	Мінімальний діаметр кристалів льоду, мкм	Максимальний діаметр кристалів льоду, мкм	Середнє значення діаметру кристалів льоду, мкм
НГК	7,55 ±0,22	44,36±2,03	25,96±1,04
НГК%	6,85±0,15	26,00±0,92	16,43 ±1,17
ГК	4,68±0,10	22,68±0,98	13,68±0,02
ГК3%	5,41 ±0,24	19,04±0,12	12,23±0,18
ГК5%	5,18±0,02	21,17±0,95	13,18±0,56

У зразках морозива (ГК, ГК3% та ГК5%) 50% протестованих діаметрів кристалів (параметр X50) не перевищували 12,23–13,68 мкм (рис. 4.14). Такий розмір кристалів через 24 години після виробництва морозива є хорошим прогнозом для подальшого зберігання даного продукту при визначеній температурі (-18°C). Навіть, якщо відбуваються коливання температури і кристали ростуть в результаті процесу рекристалізації, вони не перевищують рекомендовану межу (25–50 мкм). Повідомлялося, що збільшення розмірів кристалів льоду до діаметра понад 50 мкм після одного місяця зберігання в молочному морозиві можливе, якщо не використовувати стабілізатори (Goff &

Hartel, 2013; Lomolino, Zannoni, Zabara, Da Lio, & De Iseppi 2020; Regand & Goff, 2003). Аналізуючи діаметр кристалів льоду за досліджуваним параметром X50, чітко видно, що для зразків з НГК та НГК3% утворилися найбільші кристали льоду на рівні 16,43–25,96 мкм (табл. 4.11, рис. 4.14). Ізолят сироваткових білків, ймовірно, сприяє утворенню структури з підвищеною водоутримуючою здатністю, що призводить до формування міцної трьохмірної сітки в зразках НГК3%, ГК, ГК3% та ГК5%. Утворена структура здатна навіть механічно протидіяти зростанню кристалів льоду.

Вченими доведено, що додавання білків у морозиво може призвести до росту негексагональних кристалів, структура яких більш сприятлива для зв'язування великої кількості молекул води (Gruneberg et al., 2021). Раніше було також встановлено, що форма кристалів льоду строго залежить від типу доданих стабілізаторів, тоді як на їх діаметр також впливає склад морозива (Arellano et al., 2011; Kamińska-Dwórznicza, Łaba, & Jakubczyk, 2022; Kamińska-Dwórznicza et al., 2015). Цей результат також був отриманий для білків, що зв'язують вільну воду в морозиві (Kaleda, Tsanev, Klesment, Vilu, & Laos, 2018).

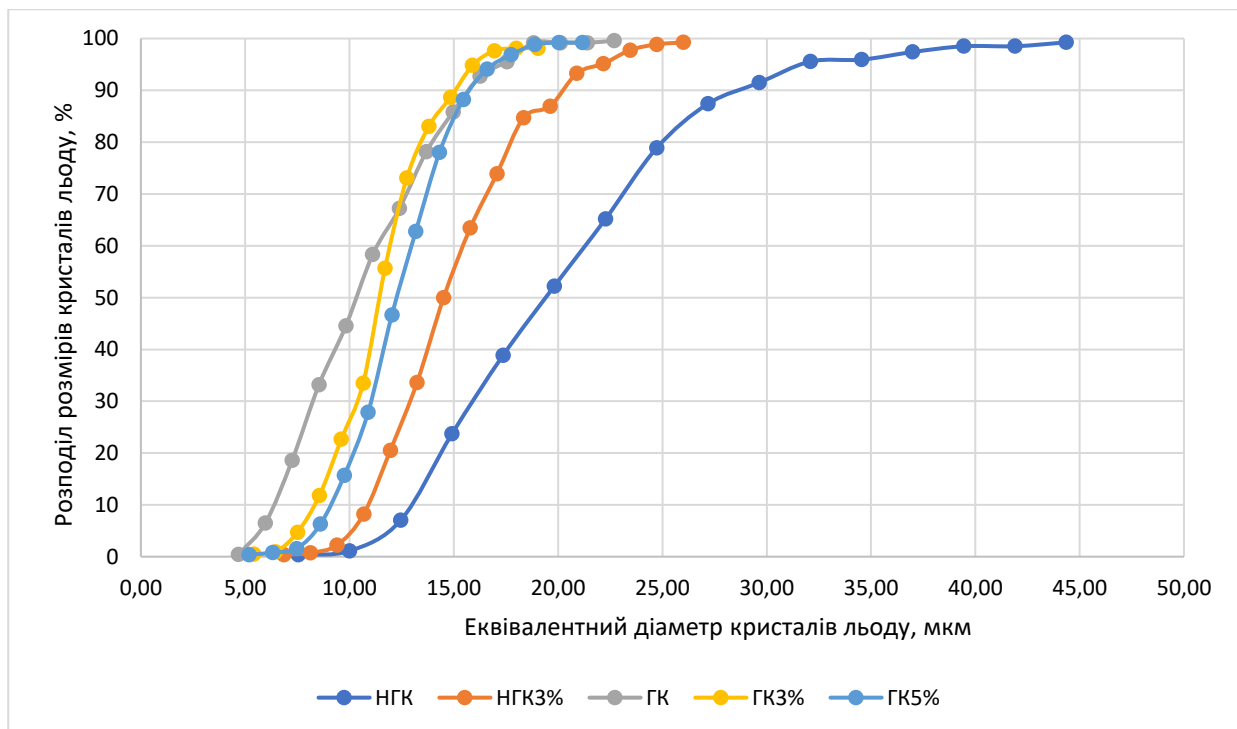


Рисунок 4.14 – Розподіл кристалів льоду у зразках морозива сироваткового

На підставі спостережень (рис. 4.15) можна припустити, що механізми утримання молекул води ізолятом сироваткових білків, доданим до досліджуваних зразків (НГК3%, ГК3% та ГК5%), можуть бути подібними. Зміни форми кристалів льоду особливо помітні в НГК та НГК3% і можуть свідчити про наявність процесів рекристалізації.

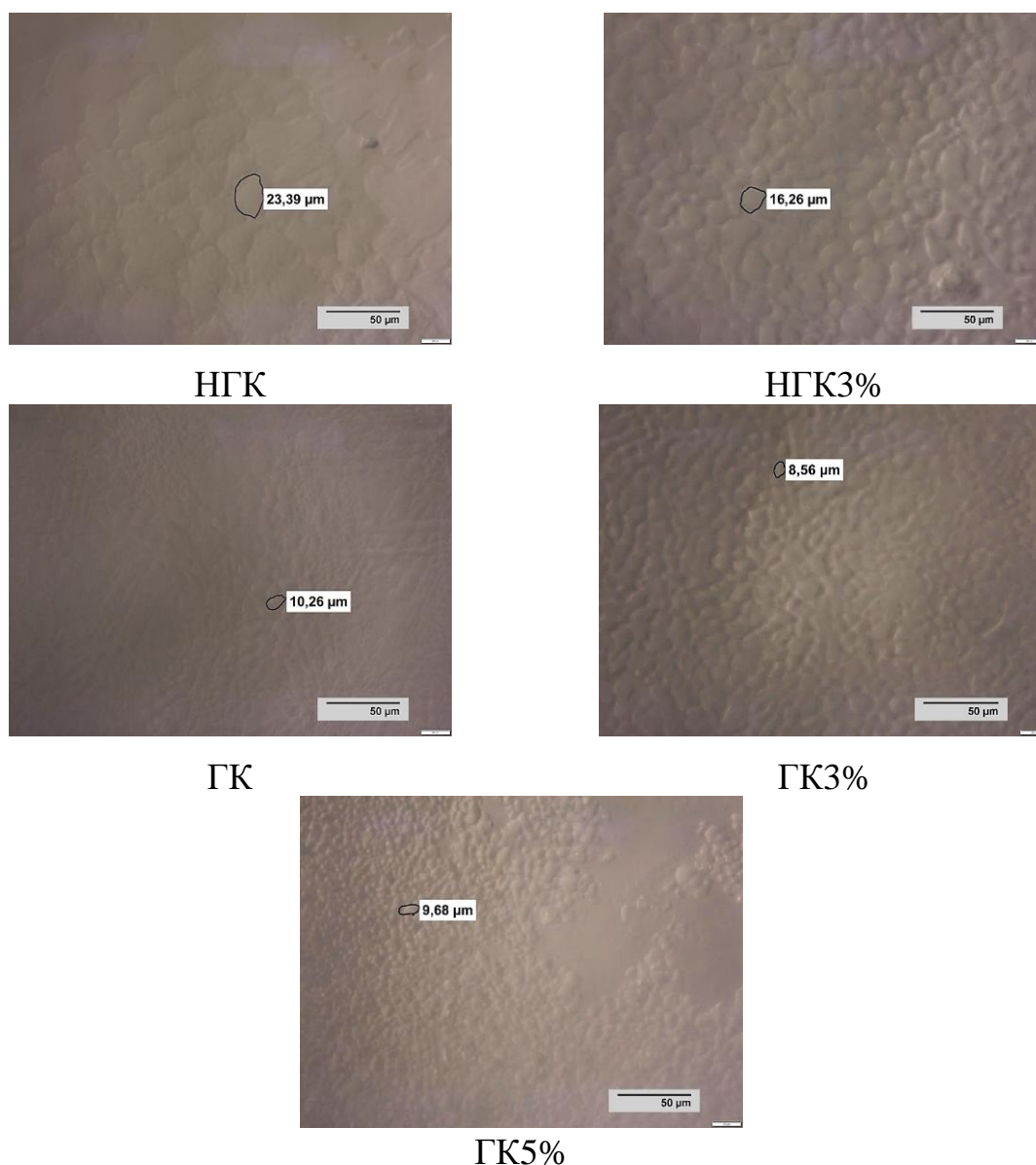


Рисунок 4.15 – Фотографії кристалів льоду після 24 годин зберігання за температури мінус 18 °С

Навпаки, ГК, ГК3% та ГК5% продемонстрували менші діаметри кристалів, які, до того ж, мають більш правильну форму, ніж у зразках на основі негідролізованого концентрату (НГК та НГК3%). Помітною особливістю НГК та

НГК3% є також різний вигляд кристалічної структури, у якій кристали розташовані досить щільно, а чітко окреслені краї створюють тривимірний ефект. Форма кристалів у НГК3% свідчить про те, що відбулися процеси зрощення кристалів та міграції вологи.

Якщо аналізувати показники якості, то збитість морозива для ГК, ГК3% та ГК5% є найвищою (71,98–79,18%) (табл. 4.12), що пов'язано із присутністю моносахаридів (глюкоза, галактоза) та їх впливом на в'язкість сумішей морозива.

Водночас, навіть за додавання ізоляту сироваткових білків, зразки ГК3% та ГК5% мають вищу збитість, ніж у НГК та НГК3%, хоча вона все ж дещо нижча за ГК. Lee & Duggan (2022) повідомляли про піноутворюючі властивості мікрогелів з ізолятом сироваткових білків. Ізолят сироваткових білків за рахунок формування еластичних зв'язків сприяє утворенню інтенсивніших міжмолекулярних взаємодій (Keim & Hinrichs, 2004), а також рівномірному розподілу бульбашок повітря, які забезпечують отримання морозива з високим показником збитості. З іншої сторони, додавання ізоляту сироваткових білків, навіть за меншої кількості (3%) призводить до зниження збитості, у порівнянні з контрольним зразком (НС), оскільки він підвищує в'язкість сумішей, що обмежує насичення суміші повітрям під час фризювання (O'Chiu & Vardhanabhuti, 2017).

Морозиво з негідролізованими концентратами сироватки має вищий опір до танення, у порівнянні зі зразками на основі гідролізованих концентратів. В першу чергу, до зниження опору до танення зразків морозива ГК, ГК3% та ГК5% призводить високий вміст моносахаридів, що є ефективнішими кріопротекторами, порівняно з дисахаридами (лактозою).

Ізолят сироваткових білків підвищує опір до танення, однак у зразках з гідролізованими концентратами цей показник все рівно є нижчим за зразки НГК та НГК3%.

Таблиця 4.12 – Фізико-хімічні показники зразків морозива ($p \leq 0,05$; $n=3$)

Показник		Зразки морозива					
		НГК	НГК3%	ГК	ГК3%	ГК5%	
Збитість, %		71,84±1,45	59,3±1,26	79,18±2,55	76,55±3,08	71,98±2,72	
Активна кислотність, рН	1 день	5,25±0,01	5,22±0,05	5,23±0,08	5,19±0,03	5,17±0,01	
	14 днів	5,20±0,10	5,13±0,04	5,12±0,01	5,09±0,01	5,05±0,04	
Опір до танення, хв	1 крапля	1 день	29,81±0,53	34,58±1,04	24,85±0,95	26,07±1,17	29,11±1,50
		14 днів	30,11±1,08	35,87±1,55	25,04±0,37	28,54±1,20	32,42±1,16
	10 см ³	1 день	44,08±1,62	49,76±1,89	33,69±1,36	36,25±1,24	40,67±1,33
		14 днів	46,11±1,91	52,32±1,01	34,78±0,88	39,82±1,45	43,83±1,57
Твердість, г·см ³	1 день	17,34±0,44	25,12±0,50	10,80±0,41	19,41±0,51	24,09±0,47	
	14 днів	18,08±0,30	25,09±0,14	16,02±0,55	21,54±0,44	26,18±0,36	

Помічено кореляцію значень збитості та опору до танення: чим вищим є насичення морозива повітрям, тим, відповідно, є вищою швидкість його танення. Така тенденція є співставною з даними інших вчених, що проводили визначення збитості та опору до танення у морозиві та заморожених десертах (Liu, Sala, & Scholten, 2022; Azari-Anpar, Khomeiri, Daraei Garmakhany, & Lotfi-Shirazi, 2021). Однак, Warren & Hartel (2018) встановив, що морозиво з низькою збитістю швидко тоне, а морозиво з високими показником збитості уповільнює швидкість танення. Інші вчені вважають, що між показником збитості та опору до танення немає взаємозалежності (Wu, Freire, & Hartel, 2019; Muse & Hartel, 2004).

На швидкість танення морозива можуть впливати також розміри кристалів льоду (Muse & Hartel, 2004), причому чим вони більші, тим нижчим є опір до танення, що співпадає із отриманими нами даними щодо розмірів кристалів льоду у дослідних зразках на основі негідролізованих концентратів сироватки (НГК, НГК3%). Присутність продуктів гідролізу у зразках ГК, ГК3% та ГК5% збільшує швидкість танення, незважаючи на утворені кристали льоду невеликих розмірів у цих зразках. Lindamoo, Grooms, & Hansen (1989) повідомляли про подібну тенденцію щодо зниження опору до танення за збільшення ступеня гідролізу лактози у зразках морозива.

Ізолят сироваткових білків за рахунок високої вологозв'язувальної здатності підвищує в'язкість сумішей морозива (Goff & Hartel, 2013), що обмежує надмірне зростання кристалів льоду та підвищує опір таненню морозива за рахунок структурно-механічного фактору стабілізації піни як дисперсної системи.

З метою глибшого дослідження закономірностей формування фізико-хімічних показників зразків морозива було визначено їх твердість. Твердість ГК з гідролізованим концентратом є меншою ніж у НГК, однак подальше додавання ізоляту сироваткових білків до складу морозива підвищує твердість у зразках ГК3% та ГК5%, хоча вона є дещо меншою, у порівнянні з НГК3%.

Протягом 14 днів зберігання відбувається підвищення твердості всіх зразків морозива, при чому найбільше це помітно для ГК3% та ГК5%. Patel, Baer, & Acharya (2006) повідомляли, що збільшення вмісту білка у ванільному морозиві

призвело до надмірної жорсткості з отриманням нижчих значень збитості. Автори пояснили це жорстким тривимірним гелем, утвореним білками, що призвело до підвищення в'язкості. Отримані дані співпадають з дослідженою динамікою кристалоутворення у морозиві, підтверджуючи, що чим більші кристали льоду, тим вища твердість морозива, однак така кореляція також не завжди підтверджується вченими (Sofjan & Hartel, 2004; Muse & Hartel, 2004). Alfaifi & Stathopoulos (2010) повідомляли, що додавання ізоляту сироваткових білків підвищує твердість морозива, а Danesh, Goudarzi, & Jooyandeh (2017), навпаки, встановили, що твердість зменшується при використанні ізоляту сироваткових білків.

З даних табл. 4.12 не спостерігається прямої залежності показника твердості від опору до танення або збитості, що пов'язано з особливостями хімічного складу зразків морозива сироваткового як харчової системи, зокрема присутності лактози або моносахаридів, зниженої масової частки СЗМЗ та підвищеного вмісту білку. Наявні протиріччя в науковій літературі щодо взаємозалежності збитості, опору до танення та твердості, а також їх кореляції з процесами утворення кристалів льоду та насичення морозива бульбашками повітря, що обумовлено важкістю отримання даних щодо зразків морозива з індивідуальним рецептурним складом. Встановлені закономірності також можуть залежати від багатьох факторів та потребують комплексного підходу до аналізування.

На останньому етапі було визначено вплив ізоляту сироваткових білків на мікробіологічні параметри морозива протягом 14-ти днів зберігання. З табл. 4.13 можна побачити, що кількість пробіотичних клітин *Lactobacillus acidophilus* для всіх зразків не була нижче за $6,2 \log \text{CFU/g}$ протягом двох тижнів зберігання, що дозволяє віднести розроблені склади морозива до пробіотичних, тобто таких, що містять не менше $6 \log \text{CFU/g}$ пробіотичних культур (Pimentel, de Oliveira, de Souza, & Magnani, 2022).

Таблиця 4.13 – Мікробіологічні показники модельних систем з ізолятом сироваткових білків та без

Зразок	Тривалість зберігання (днів)	Підрахунок (log КУО/г)			
		Коліформи	<i>L. acidophilus</i>	Дріжджі	Плісені
НГК	1	НВ	6,6	5,1	6,0
	14	НВ	6,6	5,5	6,2
НГК3%	1	НВ	6,3	5,4	НВ
	14	НВ	6,2	5,7	5,1
ГК	1	НВ	>7,7	5,3	5,3
	14	НВ	>7,7	5,5	5,5
ГК3%	1	НВ	7,6	5,0	НВ
	14	НВ	7,6	5,3	НВ
ГК5%	1	НВ	7,4	5,0	НВ
	14	НВ	7,3	5,2	НВ

Примітка. НВ – не виявлено.

Зниження *Lactobacillus acidophilus* від 6,6 log КУО/g (НГК) до 6,2–6,3 log КУО/g (НГК3%), ймовірно, пов'язане з підвищенням вмісту сухих речовин, внаслідок чого знижується активність води та підвищується осмотичний тиск, що негативно впливає на життєдіяльність мікроорганізмів закваски.

Підвищення кількості бактеріальних клітин *Lactobacillus acidophilus* у зразках з гідролізованим концентратом сироватки, не зважаючи на ще більше підвищення масової частки сухих речовин, відбувається завдяки присутності глюкози та галактози у даних харчових системах, що є поживним середовищем та стимулюють процес розвитку пробіотичних культур (Osmak, Mleko, Bass, Mykhalevych, & Kuzmyk 2021). Потрібно відмітити, що присутність ізоляту сироваткових білків теж в деякій мірі може сприяти розвитку *Lactobacillus acidophilus*. Afzaal et al. (2022) показали, що ізоляти сироваткових білків були

більш ефективними завдяки складу амінокислот як захисного середовища для штамів клітин пробіотиків. Burgain et al. (2014) повідомляли, що деякі з молекул, присутніх у клітинах пробіотичних бактерій, беруть участь у адгезії з полісахаридами, кислотами, білками та ліпідами. Молочні білкові інгредієнти, як представники біополімерів, є поширеними складниками біоактивних агентів (інкапсулянти, протектори), що використовуються для захисту пробіотичних бактерій (Heidebach, Först, & Kulozik, 2012, Tavares, Croguennec, Carvalho, & Vouhallab, 2014). Поєднання пробіотиків з ізолятом сироваткового протеїну може додати більшої цінності обробленим харчовим продуктам, однак основним недоліком, пов'язаним із цією комбінацією, є нестабільність бактерій, оскільки WPI є ідеальним джерелом живлення для росту та розмноження мікроорганізмів за високого вмісту вологи (Khem, Small, & May 2016).

Результати підрахунку дріжджів та фунгі у зразках морозива вказують на те, що ГК3% та ГК5% мають менший їх вміст у порівнянні з іншими зразками. Ізолят сироваткових білків за рахунок активного зв'язування вільної води та підвищення осмотичного тиску у продукті створює несприятливі умови для розвитку фунгі та дріжджів, що піддається кореляції з отриманими даними активності води у сумішах морозива.

Висновки за розділом 4

1. Оптимізовано ступінь заміни цукру в морозиві на сухі речовини рідкого концентрату демінералізованої сироватки 40%. Зниження потреби у цукрі в морозиві з негідролізованим концентратом сироватки у перерахунку на його загальний вміст може досягати 29%, а з гідролізованим концентратом – 42%.

2. Встановлено, що найвищими піноутворюючими властивостями володіє ізолят сироваткових білків, який у кількості 3% забезпечує найвищі показники пінозбитості (172,5–225,0%) та піностійкості (47,7–52,4 хв) у складі сумішей морозива на основі гідролізованого концентрату сироватки. За його вмісту на рівні 3–5% у складі сумішей на основі гідролізованого концентрату пінозбитість становила 221,5–246,7%, а піностійкість – 59,3–61,9 хв.

3. За впливом на в'язко-швидкісні характеристики сумішей морозива ізоліату сироваткового білка було обрано для подальшого дослідження у технології морозива сироваткового, як інгредієнт, що забезпечує отримання харчових систем з вираженою здатністю до самочинного відновлення зруйнованих зв'язків. Для морозива з негідролізованим концентратом сироватки раціональної масовою часткою білкової добавки є 3%, а для морозива з гідролізованим концентратом – 3–5%.

4. Вивчення впливу ізоляту сироваткових білків вказує на його здатність до інтенсифікації процесу виморожування вільної води у морозиві за температурного діапазону від криоскопічної температури до мінус 10 °С, що забезпечує виморожування 70,5–71,2% води у зразках з негідролізованим концентратом та до 72,9–76,1% у зразках з гідролізованим концентратом.

5. Поєднання ізоляту сироваткових білків (3–5%) та гідролізованого концентрату сироватки сприяє утворенню структури з підвищеною водоутримувальною здатністю, що призводить до формування більш однорідної кристалічної структури (середній діаметр кристалів льоду від 13,75 до 14,75 мкм). Аналіз мікроструктури підтверджує доцільність застосування ізоляту сироваткових білків у кількості 3–5%, що забезпечує рівномірний розподіл бульбашок повітря у морозиві та сприяє отриманню продукту із високим показником збитості.

6. Відповідно до мікробіологічного аналізу можна класифікувати розроблені види морозива як пробіотичні харчові продукти за кількості *Lactobacillus acidophilus* для всіх зразків не нижче за 6,2 log КУО/г.

РОЗДІЛ 5. ВИВЧЕННЯ МОЖЛИВОСТІ ЗАМІНИ СТАБІЛІЗАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ В МОРОЗИВІ АЦИДОФІЛЬНО-СИРОВАТКОВОМУ НА β -ГЛЮКАНИ РІЗНОГО ПОХОДЖЕННЯ

5.1. Вивчення в'язкості та термофізичних характеристик морозива

З метою перевірки дії стабілізуючих речовин на в'язкість, $t_{кр}$ та процес рекристалізації вільної води було підготовлено зразки морозива відповідно до рецептур, наведених у табл. 5.1.

Масова частка комерційної стабілізаційної системи на рівні 0,6% була застосована відповідно до рекомендацій виробника для технології нежирного морозива, а β -глюканів – відповідно до наявних даних у науковій літературі щодо їх застосування у технології морозива (Tomczyńska-Mleko et al., 2024; Aljewicz, Florczuk, & Dabrowska, 2020; Buniowska-Olejnik et al., 2023).

Завдяки здатності взаємодіяти з водою та утворювати в'язкі розчини, β -глюкани можуть суттєво підвищувати в'язкість харчових продуктів з високим вмістом води, причому для БГВ ця здатність є вищою. Навпаки, β -глюкан з дріжджів підвищує в'язкість сумішей не настільки виражено, що пов'язано з відмінностями в молекулярній масі та структурі (Frank et al., 2004; Sammalisto et al., 2024). Дослідження вказують на те, що дріжджовий β -глюкан може підвищувати в'язкість напоїв і деяких молочних продуктів, але меншою мірою, ніж БГВ (Chiozzi et al., 2021; Rose et al., 2023).

В'язкість є критичним параметром у рецептурах морозива, що впливає на текстуру та смакові відчуття. Отримані значення в'язкості вказують на суттєві відмінності між сумішами морозива (табл. 5.2).

Таблиця 5.2 – Реологічні показники сумішей морозива ($p \leq 0,05$; $n=3$)

Зразок	В'язкість, мПа·с	Коефіцієнт консистенції (К) (дин/см ²)	Індекс поведінки течії (n)
Контроль	308,54±5,83	97,05±1,89	0,203±0,01
0,6% СС	372,14±10,54	102,03±2,56	0,214±0,01
0,25% БГВ	507,94 ±14,57	139,26±4,22	0,232±0,01
0,5% БГВ	623,07±29,87	155,98±5,21	0,244±0,02
0,25% БГД	464,17±8,26	127,26±3,87	0,227±0,01
0,5% БГД	542,14±15,40	137,19±3,68	0,236±0,02

Значення коефіцієнта консистенції показують статистично значущі різниці між групами. Зразок 0,5%БГВ має значно вище значення коефіцієнта консистенції ($155,98 \pm 5,21$), ніж контрольна група ($102,03 \pm 2,56$), що свідчить про збільшення в'язкості при додаванні 0,5% БГВ. Зразок 0,5%БГД також демонструє вище значення коефіцієнта консистенції ($137,19 \pm 3,68$), порівняно з контролем. Індекс поведінки течії для зразків з β -глюканами вказує на суттєву зміну в текучості, порівняно з контролем.

Спостережувані відмінності у в'язкості між зразками демонструють, як вибір добавки β -глюкану та її концентрація можуть впливати на реологічні властивості морозива.

У виробництві морозива контроль зниження $t_{кр}$ має вирішальне значення для досягнення бажаної текстури продукту (Rout & Saha, 2023), зокрема, для запобігання утворенню великих кристалів льоду. Стабілізатори структури впливають на $t_{кр}$ опосередковано за рахунок додаткового зв'язування вільної води, що призводить до підвищення концентрації розчину низькомолекулярних

сполук. За цих умов також зміцнюється тривимірна сітка, що порушує процес утворення кристалів льоду шляхом впливу на впорядковане розташування молекул води.

Для контрольного зразка морозива без стабілізаторів (К) отримана $t_{кр}$ вказує на природну поведінку морозива при замерзанні суміші (табл. 5.3). За таких умов кристали льоду здатні відносно вільно утворюватися, що потенційно може призвести до формування грубокристалічної структури за рахунок утворення великих кристалів льоду (Goff, 2018). Зразок 0,6%СС, що містить 0,6% Cremodan SI 320, демонструє позитивну динаміку щодо зниження $t_{кр}$.

Подібні результати повідомлялися й в інших дослідженнях, що вивчали вплив комерційних стабілізуючих систем у морозиві на процес утворення кристалів льоду під час зберігання (Góral et al., 2018; Kamińska-Dwórznička, Łaba, & Jakubczyk, 2022). Водночас, на думку деяких вчених, зниження $t_{кр}$ в межах до $0,5^{\circ}\text{C}$ не може вважатися суттєвим і таким, що здатне суттєво протистояти процесам рекристалізації вологи у морозиві (Fuangraiboon & Kijroongrojana, 2017). Підтвердження цієї думки буде розглянуто під час обговорення динаміки льодоутворення у морозиві.

Таблиця 5.3 – Фізико-хімічні показники сумішей морозива ($p \leq 0,05$; $n=3$)

Зразок	Точка замерзання, $^{\circ}\text{C}$
К	$-4,222 \pm 0,14$
0,6%СС	$-4,688 \pm 0,03$
0,25%БГВ	$-5,108 \pm 0,25$
0,5%БГВ	$-6,040 \pm 0,18$
0,25%БГД	$-3,888 \pm 0,07$
0,5%БГД	$-3,846 \pm 0,02$

Застосування БГВ (0,25–0,5%) максимально знижує кріоскопічну температуру, причому підвищення масової частки даного полісахариду лише

посилює цей ефект. Дещо іншу тенденцію демонструє БГД, який підвищує $t_{кр}$ порівняно з контрольним зразком. БГД є полісахаридом з гідрофільними властивостями (Guleria, Kumari, & Dangi, 2015). Подібно до БГВ він взаємодіє з молекулами води, утворюючи гідратовані сітки, однак, β -глюкани із зернових володіють підвищеною здатністю зв'язувати вільну воду (Suchecka, Gromadzka-Ostrowska, Żyła, Harasym, & Oczkowski, 2017).

Однак, ми вважаємо, що основна відмінність у поведінці БГД та БГВ в морозиві зумовлена їхніми несхожими молекулярними структурами і властивостями. БГД являє собою лінійний полімер, що складається з (1,3)- β -D-глюкопіранозних ланок. Він має відносно високу молекулярну масу і сильно розгалужену структуру, що дає йому змогу утворювати мережу водневих зв'язків із молекулами води (Sammalisto, Mäkelä-Salmi, Wang, Coda, & Katina, 2024; Frank, Sundberg, Kamal-Eldin, Åman, & Vessby, 2004). Ця мережа перешкоджає утворенню кристалів льоду в морозиві, ускладнюючи їхнє зростання і надаючи морозиву більш гладкої текстури. У результаті БГД може знизити температуру замерзання морозива, знижуючи грубокристалічність структури морозива і забезпечуючи кремоподібність його консистенції.

Навпаки, БГВ являє собою більш короткий, лінійний полімер, що складається з (1,4)- β -D-глюкопіранозних ланок. ВБГ має нижчу молекулярну масу, ніж БГД, і менш розгалужену структуру. У морозиві ВБГ має тенденцію до агрегації з самим собою та утворення більших частинок, що може фактично підвищити температуру замерзання суміші. Це відбувається тому, що такі частинки можуть виступати в якості центрів зародження кристалів льоду, сприяючи їх зростанню що формує грубокристалічну структуру морозива.

Відомо, що для традиційних типів морозива $t_{кр}$ зазвичай знаходиться у межах від мінус 3,6°C до мінус 2,4°C (Das & Hooda, 2023). Саме тому можна стверджувати, що здатність БГД утворювати стабільні гелі у водних розчинах також сприяє стабілізації структури морозива, про що свідчать спостережувані $t_{кр}$ (Raikos, Grant, Hayes, & Ranawana, 2018).

Не менш важливу роль у зниженні $t_{кр}$ відіграє склад даного морозива. Високий вміст сухих речовин (42,05–42,24%), зокрема моносахаридів та білку (5,98–6,09%) також опосередковано впливає на зниження $t_{кр}$ за рахунок зв'язування вільної води. Вчені відмічали, що присутність моносахаридів у морозиві зазвичай викликає депресію $t_{кр}$ (Abbasi & Saeedabadian, 2015; Skryplonek, Gomes, Viegas, Pereira, & Henriques, 2017). Утворені продукти гідролізу – моносахариди (глюкоза та галактоза) мають вищу, ніж лактоза, розчинність (Dutra Rosolen, Gennari, Volpato, & Volken de Souza, 2015), що зумовлено наявністю в їхніх молекулах великої кількості сильнополярних гідроксильних груп, здатних до утворення більшої кількості водневих зв'язків порівняно з лактозою (Majore & Ciprovica, 2023; Suzuki, 2008).

Враховуючи, що вміст моносахаридів є значно вищим, ніж у традиційних видах морозива, це також чинить вплив на зниження $t_{кр}$. Khaliduzzaman Siddiqui, Islam, Easdani та Bhuiyan (2012) повідомляли про зниження $t_{кр}$ від мінус 2,06°C до мінус 3,47°C за збільшення кількості сухих речовин від 35,58% до 36,42% та одночасній заміні цукру на мед (до 18%), що містить у своєму складі моносахариди – глюкозу та фруктозу.

Загалом, отримані діапазони $t_{кр}$ вказують на те, що дані зразки морозива можна віднести до харчових систем з міцною трьохвимірною сіткою, що вже сама по собі здатна протистояти утворенню великих кристалів льоду.

Отримані дані щодо виморожування вільної води у морозиві на різних стадіях низькотемпературної обробки вказують на те, що β -глюкани є ефективними кріопротекторами (табл. 5.4).

Таблиця 5.4 – Вміст вимороженої води у морозиві за технологічного низькотемпературного оброблення, % ($p \leq 0,05$; $n=3$)

t обр, °C	К	0,6%СС	0,25%БГВ	0,5%БГВ	0,25%БГД	0,5%БГД
5	81,82	82,29	82,71	83,64	81,49	81,45

Продовження таблиці 5.4

10	90,91	91,14	91,35	91,82	90,74	90,72
15	93,94	94,10	94,24	94,55	93,83	93,82
20	95,46	95,57	95,68	95,91	95,37	95,36
25	96,36	96,46	96,54	96,73	96,30	96,29
30	96,97	97,05	97,12	97,27	96,91	96,91
35	97,40	97,47	97,53	97,66	97,36	97,35
40	97,73	97,79	97,84	97,96	97,69	97,68

Однозначно, що додавання β -глюканів до морозива попереджує кристалізацію вільної води під час довготривалого зберігання за рахунок її ефективного виморожування вже на початкових стадіях обробки.

5.2. Дослідження процесу рекристалізації вільної води у морозиві під час зберігання

Вимірювання розмірів кристалів льоду у зразках морозива вказує на значні відмінності в характері їх росту в залежності від застосованого стабілізатора (табл. 5.5). Контрольний зразок (К), який не містив стабілізуючих інгредієнтів, продемонстрував значне збільшення розміру кристалів льоду від 18,50 мкм у перший день до 27,50 мкм після місяця зберігання (табл. 5.5, рис. 1). Ця тенденція узгоджується зі схильністю кристалів льоду до зростання і об'єднання з часом за відсутності стабілізаторів, що призводить до утворення більш грубої текстури заморожених продуктів (Krishna et al., 2020).

Зразок 0,6%СС спочатку мав дещо менші розміри кристалів льоду (15,80 мкм через 24 години), ніж контрольний зразок (табл. 5.5). Однак, протягом зберігання відбулося їх значне збільшення до 32,15 мкм (табл. 5.5, рис. 1). Це вказує на те, що Cremodan SI 320 забезпечує лише початкову стабілізацію, а подальша його ефективність зменшується протягом більш тривалих періодів зберігання.

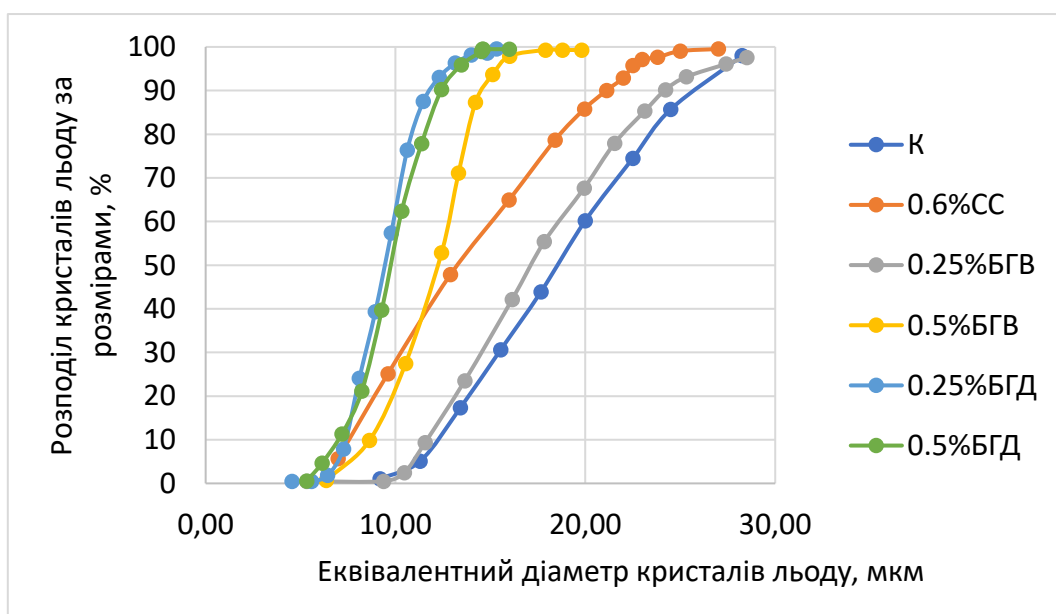
Таблиця 5.5 – Динаміка росту кристалів льоду у морозиві протягом 1 місяця зберігання ($p \leq 0,05$; $n=3$)

Зразок	Тривалість зберігання	Мінімальний діаметр кристалів льоду, мкм	Максимальний діаметр кристалів льоду, мкм	Середнє значення діаметру кристалів льоду, мкм
К	24г	9,18±0,12	28,26±0,70	18,50±1,21
	1Т	12,23±0,03	35,37±0,89	25,01±1,06
	1М	13,33±0,14	37,39±0,52	27,50±0,78
0,6%СС	24г	5,64±0,22	30,32±0,46	15,80±0,67
	1Т	10,60±0,11	35,71±0,35	20,50±0,77
	1М	16,72±0,47	43,84±0,60	32,15±1,18
0,25%БГВ	24г	5,32±0,12	28,31±0,42	18,74±0,04
	1Т	7,27±0,02	30,07±0,65	19,29±0,50
	1М	8,03±0,05	36,60±1,05	20,01±0,72
0,5%БГВ	24г	6,35±0,19	19,81±0,28	11,38±0,17
	1Т	8,35±0,16	27,59±0,89	12,71±0,16
	1М	9,52±0,12	30,55±0,71	16,31±0,15
0,25%БГД	24г	4,54±0,03	15,33±0,41	8,49±0,37
	1Т	4,68±0,02	16,51±0,64	9,26± 0,12
	1М	4,73±0,04	17,19±0,31	9,52±0,16
0,5%БГД	24г	5,32±0,19	15,99±0,50	10,24±0,02
	1Т	5,45±0,09	19,31±0,98	10,52±0,49
	1М	7,08±0,18	20,72±0,52	11,08±0,20

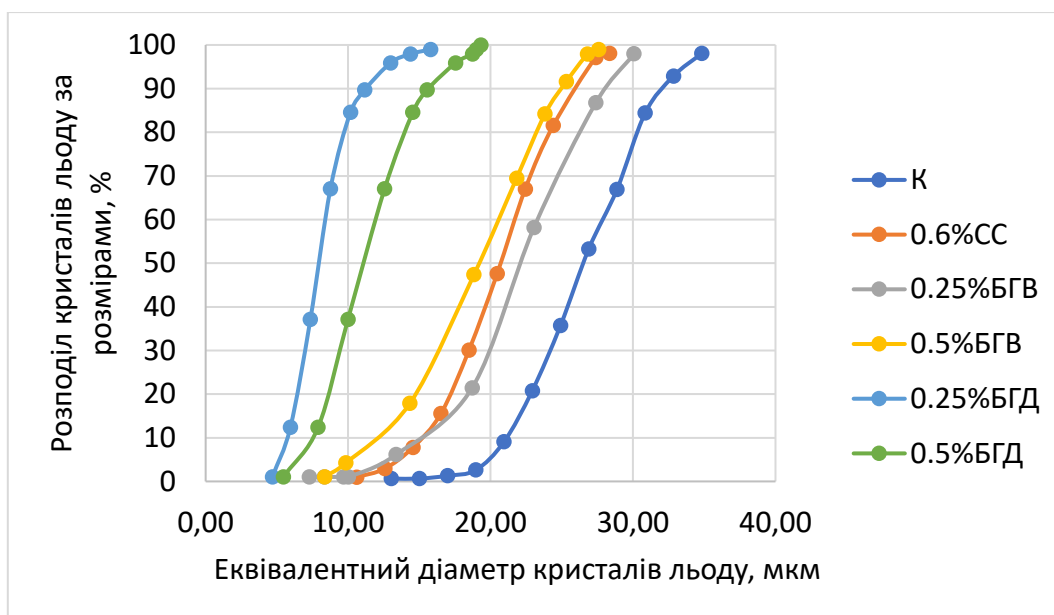
Примітка. 24г – 24 години зберігання морозива, 1Т – 1 тиждень зберігання морозива, 1М – 1 місяць зберігання морозива.

Також вони не суттєво впливають на ріст кристалів льоду під час фризювання та загартування, але здатні зменшувати швидкість росту кристалів льоду під час зберігання та транспортування протягом повного циклу зберігання за низьких температур. Звісно, що вказані властивості можуть значно варіювати залежно від складу стабілізаційної системи, масової частки добавки та компонентного складу морозива.

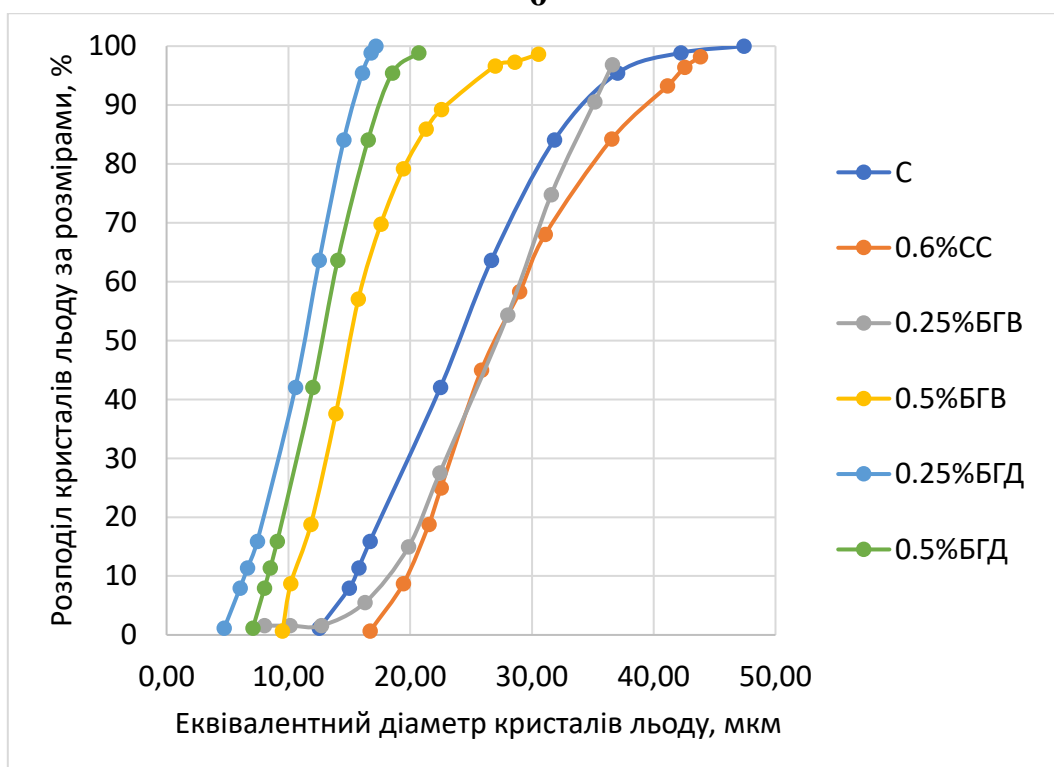
Додавання β -глюкану з вівса та дріжджів забезпечує суттєвий вплив на утворення та ріст кристалів льоду, порівняно з контрольним морозивом та зразком, що містив стабілізаційну систему. Зразок з 0,25% вівсяного β -глюкану демонстрував початковий розмір кристалів льоду, подібний до контролю, але протягом строку зберігання динаміка їх росту була повільнішою, що забезпечувало середній розмір кристалів льоду на рівні 20,01 мкм (табл. 5.5). Збільшення концентрації вівсяного β -глюкану до 0,5% посилює інгібуючий ефект по відношенню до утворення кристалів льоду (11,38 мкм після 24 год) та їх подальшого росту (16,31 мкм через один місяць) (табл. 5.5, рис. 5.1). Проте, найбільший ефект стабілізації спостерігався при використанні β -глюкану з дріжджів. У зразку з 0,25% дріжджового β -глюкану утворювалися найменші кристали льоду (8,49 мкм) з подальшим незначним зростанням до рівня 9,52 мкм через один місяць (табл. 5.5, рис. 5.1).



а



б



в

Рисунок 5.1 – Розподіл кристалів льоду у зразках морозива сироваткового після різної тривалості зберігання: а – 24 години, б – 1 тиждень та в – 1 місяць.

Аналогічно, зразок з 0,5% дріжджового β-глюкану показав незначне зростання кристалів льоду з 10,24 мкм до 11,08 мкм за той самий період (табл. 5.5, рис. 5.1). Висока ефективність дріжджового β-глюкану в інгібуванні росту кристалів льоду може бути пояснена його здатністю утворювати більш стабільну

мережу гелю, що здатна ефективніше обмежувати рухливість води і рекристалізацію вільної води за рахунок наявності розгалужених 1–6 ланцюгів.

За рахунок підвищеної здатності до зв'язування води β -глюкани захоплюють більшу кількість молекул вільної води, що знижує кількість утворених кристалів льоду та уповільнює їх подальший ріст. β -глюкан вівса утворює в'язкий розчин, який зменшує рухливість вільної води і потенціал для утворення великих кристалів льоду. Дріжджовий β -глюкан утворює більш стабільну гелеву мережу в матриці морозива та ще ефективніше обмежує рухливість води. Ця стабільність особливо корисна для запобігання рекристалізації вільної води протягом тривалих періодів зберігання морозива.

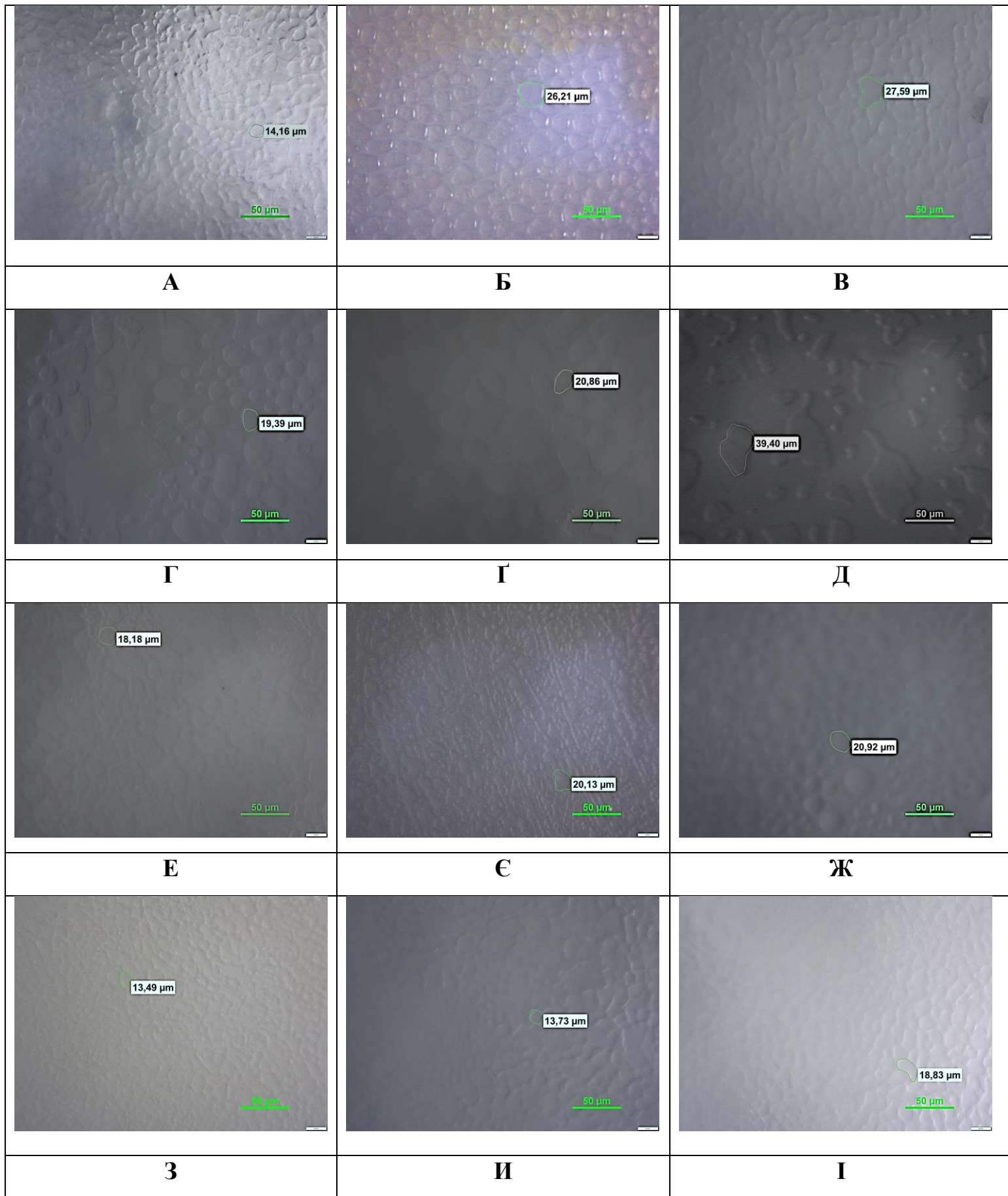
Відмінності між вівсяним та дріжджовим β -глюканами у здатності інгібувати утворення та ріст кристалів льоду в морозиві можуть бути пов'язані також з тим, що під час заморожування може відбуватися часткова деградація β -глюкану через втрату розчинності внаслідок утворення нерозчинних агрегатів (Gamel et al., 2013).

Процеси низькотемпературного оброблення сумішей, зокрема, багатократне заморожування та розморожування, можуть зменшити молекулярну масу, розчинність та/або екстрактивність β -глюканів зі злаків. Причина полягає в тому, що заморожування не може дезактивувати активність ферментів β -глюканази, відповідальних за розщеплення β -глюкану на фрагменти з низькою молекулярною масою (Ames et al., 2015; Ames et al., 2011). Саме тому коливання температурних режимів під час виробництва та зберігання морозива є небажаним явищем для β -глюкану вівса, що може посилити його руйнування та, відповідно, знизити здатність до інгібування процесу рекристалізації вільної води. Поведінка β -глюкану із зернових під час заморожування за низьких температур в основному була досліджена у тісті та хлібобулочних продуктах (Lan-Pidhainy et al., 2007; Andrzej et al., 2020), саме тому подальше вивчення механізмів його дії в умовах низьких температур та за тривалого зберігання морозива є перспективним напрямком дослідження.

На здатність β -глюкану з дріжджів до обмеження росту кристалів льоду може впливати також технологічне оброблення, зокрема гомогенізація під тиском. Thammakiti et al. (2004) дослідили, як гомогенізація впливає на хімічний склад, в'язкість та функціональні характеристики β -глюкану з дріжджів *Sacchromyces cerevisiae*. Результати цього дослідження показали, що препарат β -глюкану, отриманий після гомогенізації дріжджових клітин, має вищий вміст β -глюкану та уявну в'язкість. Гомогенізація призводить до фрагментації клітинних стінок і покращення вивільнення β -глюкану з дріжджових клітин.

Якщо аналізувати гелеутворюючі властивості полісахаридів, то варто відмітити, що мережева структура гелю має вирішальне значення для ефективної стабілізації кристалів льоду. Гелеподібна сітка, утворена β -глюканом вівса, ефективно утримує воду, але стабільність цієї сітки в часі може бути менш міцною порівняно з дріжджовим β -глюканом. Мережа, утворена дріжджовим β -глюканом, є більш стабільною і стійкою, забезпечуючи максимальне пригнічення росту кристалів льоду. Ця мережева структура, ймовірно, є більш ефективною для підтримки менших розмірів кристалів льоду під час тривалого зберігання.

Аналіз мікрофотографій кристалів льоду у морозиві під час зберігання підтвердив виявлені закономірності рекристалізації вільної води у присутності різних стабілізуючих речовин (рис. 5.2). У зразку морозива без стабілізаторів утворені кристали льоду на перший день є відносно невеликими і рівномірно розподіленими (рис. 5.2, А), проте вже через тиждень зберігання кристали льоду ставали більшими та набували неправильної форми (рис. 5.2, В), а через місяць відбувалася рекристалізація вільної води та зрощення кристалів в агломерати (рис. 5.2, С). Стабілізаційна система Cremodan SI 320 забезпечувала утворення рівномірно розподілених кристалів льоду (рис. 5.2, D), які протягом першого тижня зберігання залишалися відносно невеликими (рис. 5.2, E), однак через один місяць спостерігалася значне зростання та об'єднання кристалів льоду (рис. 5.2, F).



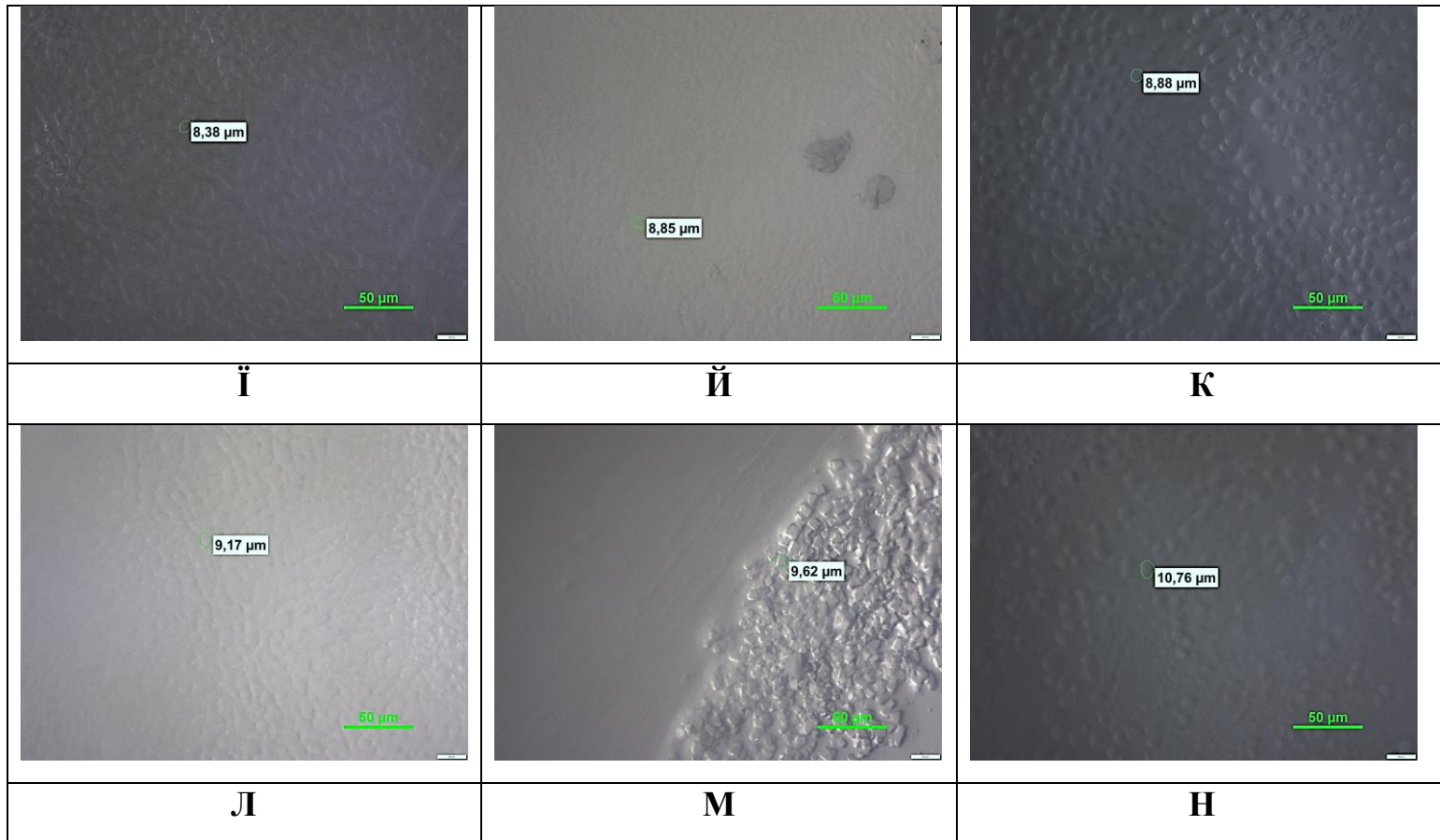


Рисунок 5.2 – Фотографії кристалів льоду у зразках морозива сироваткового впродовж зберігання (24 год (А, Г, Е, З, І, Л), 1 тиждень (Б, Г, Є, И, Й, М), 1 місяць (В, Д, Ж, І, К, Н): (А–В) – контрольний зразок морозива без стабілізуючих інгредієнтів; (Г–Д) контрольний зразок морозива, що додатково містить 0,6% стабілізуючої системи Cremodan SI 320; (Е–Ж) зразок морозива, що містить 0,25% β -глюкану з вівса; (З–І) зразок морозива, що містить 0,5% β -глюкану з вівса; (І–К) зразок морозива, що містить 0,25% β -глюкану з дріжджів; (Л–Н) зразок морозива, що містить 0,5% β -глюкану з дріжджів.

Використання 0,25% β -глюкану вівса забезпечувало утворення невеликих кристалів льоду рівномірних за розміром (рис. 5.2, Г), які демонстрували контрольовану тенденцію до збільшення та росту протягом всього строку зберігання (рис. 5.2, Н, І). Підвищення масової частки β -глюкану вівса до 0,5% забезпечувало більш виражений ефект стабілізації, що виражалося в утворенні більш дрібних та однорідних кристалів льоду, які формують гладку текстуру

продукту (рис. 5.2, J, K, and L). Однак, застосування β -глюкану з дріжджів (0,25–0,5%) забезпечувало найменші розміри кристалів льоду та однорідність їх розподілу у матриці морозива, що навіть після одного місяця зберігання демонструвало лише незначне зростання (рис. 5.2, O, R). Це підтверджує виражений та довготривалий стабілізуючий ефект дріжджового β -глюкану.

Наведені вище дані щодо порівняння кріоскопічних температур та закономірностей рекристалізації вільної води у зразках морозива з різними стабілізуючими інгредієнтами розширюють знання щодо ролі стабілізаторів у формуванні складної структури та підвищенні стабільності морозива під час зберігання. Доведено, вагому роль впливу виду і кількості стабілізатора структури на рекристалізацію вільної води в морозиві протягом його зберігання впродовж 1 місяця.

Розуміння цих результатів з наукової точки зору дає змогу обґрунтовувати рецептурний склад морозива, щоб задовольнити очікування споживачів щодо гладкої та кремової текстури.

5.3. Вплив β -глюканів на текстуру та показники якості морозива

Аналіз зміни збитості морозива дає розуміння того, що β -глюкани впливають на розподіл повітряної фази у продукті. Контрольний зразок мав збитість на рівні 75,25%, тоді як зразок з вівсяним та дріжджовим β -глюканом – 83,12% та 77,39% відповідно (рис. 5.3).

Вівсяний β -глюкан стабілізує повітряні бульбашки ефективніше, ніж дріжджовий β -глюкан. Akal (2023) повідомляв, що включення розчинних волокон, таких як інулін та вівсяний β -глюкан, до складу морозива призводить до збільшення збитості. Це може пояснюватися стабілізуючим ефектом розчинних волокон, які покращують стабільність піни шляхом утримання повітря в матриці морозива (Burkus and Temelli, 2000).

Хоча дріжджовий β -глюкан також сприяв збільшенню збитості порівняно з контрольним зразком, але він показав меншу стабілізаційну здатність щодо повітряної фази, ніж вівсяний β -глюкан. Це узгоджується з висновками інших

вчених (Aljewicz et al., 2020b; Sadiq and Mousa, 2024), що різні типи β -глюканів мають різний вплив на фізико-хімічні властивості молочних продуктів, у тому числі здатність стабілізувати емульсії та бульбашки повітря.

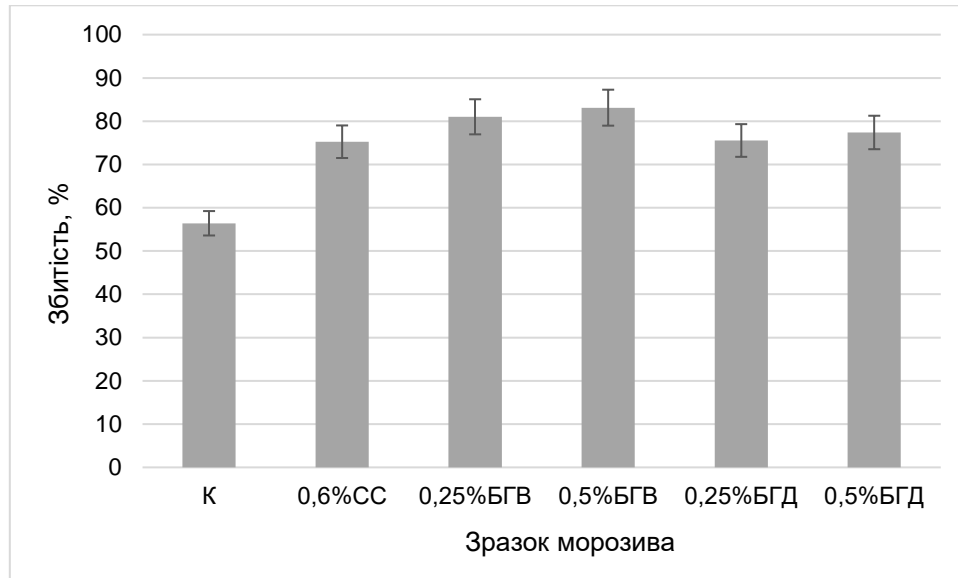


Рисунок 5.3 – Збитість досліджуваних зразків морозива сироваткового

Застосування β -глюканів суттєво вплинуло на поведінку морозива при таненні (рис. 5.4).

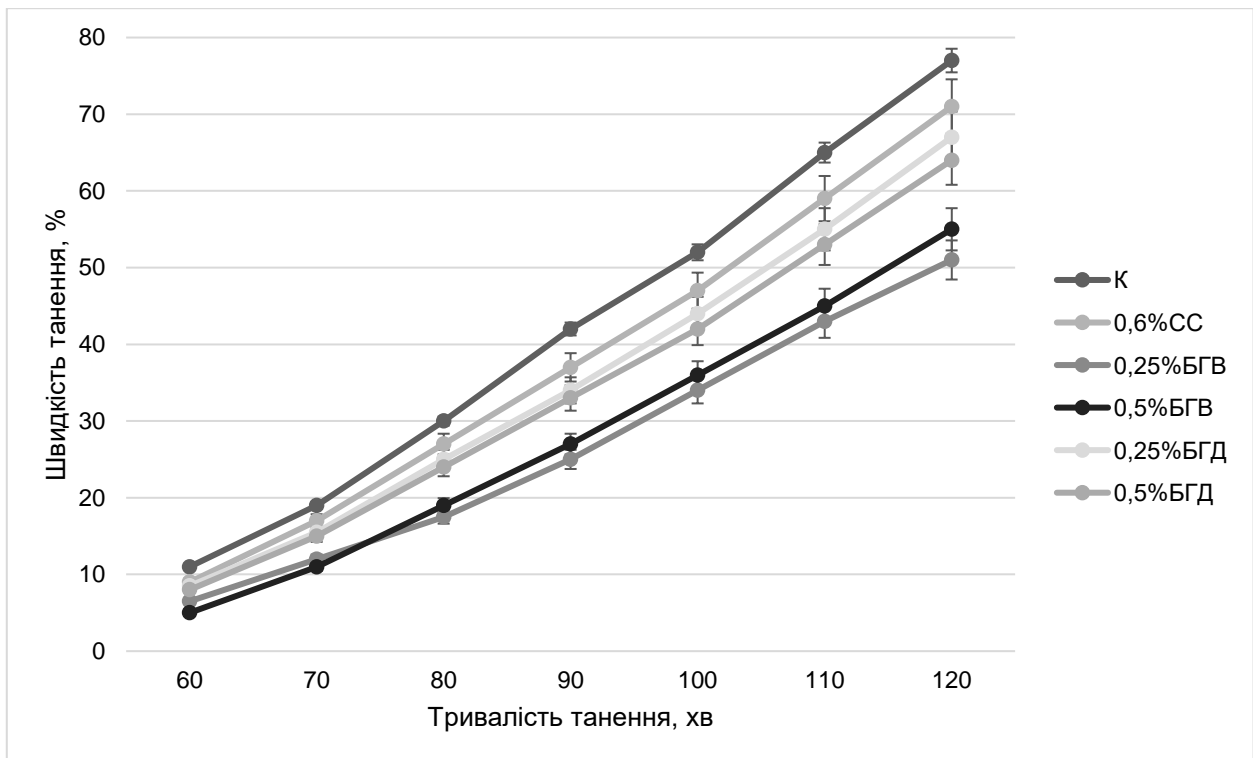


Рисунок 5.4 – Швидкість танення морозива сироваткового

Зразок з 0,5% вівсяного β -глюкану показав найнижчу швидкість танення. Лише 55% отепленої маси цього зразка розтануло через 120 хвилин, що свідчить про його підвищену стабільність і стійкість до танення. Зразок з 0,5% дріжджового β -глюкану також сповільнював танення морозива до 64%.

Одержані результати свідчать про те, що вівсяний β -глюкан гальмує процес танення морозива ефективніше, ніж дріжджовий β -глюкан. Вища водозв'язуюча та гелеутворююча здатності вівсяного β -глюкану сприяють утворенню більш стабільної матриці морозива. Подібні висновки були також зроблені Aljewicz et al. (2020b), які виявили, що застосування гідроколоїдів, зокрема вівсяного β -глюкану, покращує опір до танення морозива завдяки їхнім стабілізуючим властивостям.

З метою перевірки впливу β -глюканів на здатність стабілізувати повітряну фазу морозива було досліджено розподіл бульбашок повітря у м'якому морозиві після фризрування (рис. 5.5).

Середній діаметр повітряних бульбашок у перший день зберігання був найменшим у контрольному зразку (6,60 мкм). У зразках з β -глюканом дріжджів та вівса він становив 8,56 мкм та 11,51 мкм відповідно. Через 1 місяць у всіх зразках спостерігалось збільшення розміру повітряних бульбашок, зокрема найбільший діаметр бульбашок був саме у контрольному зразку (14,92 мкм). Це свідчить про те, що β -глюкани стабілізують повітряну фазу більш ефективно протягом тривалого часу, на відміну від зразку з комерційною стабілізаційною системою (Santiranichwong and Suphantharika, 2009). Це узгоджується з висновками Izydorczyk and McMillan (2019), які повідомляли, що харчові волокна, такі як β -глюкани, можуть стабілізувати повітряні бульбашки, покращуючи загальну текстуру продукту.

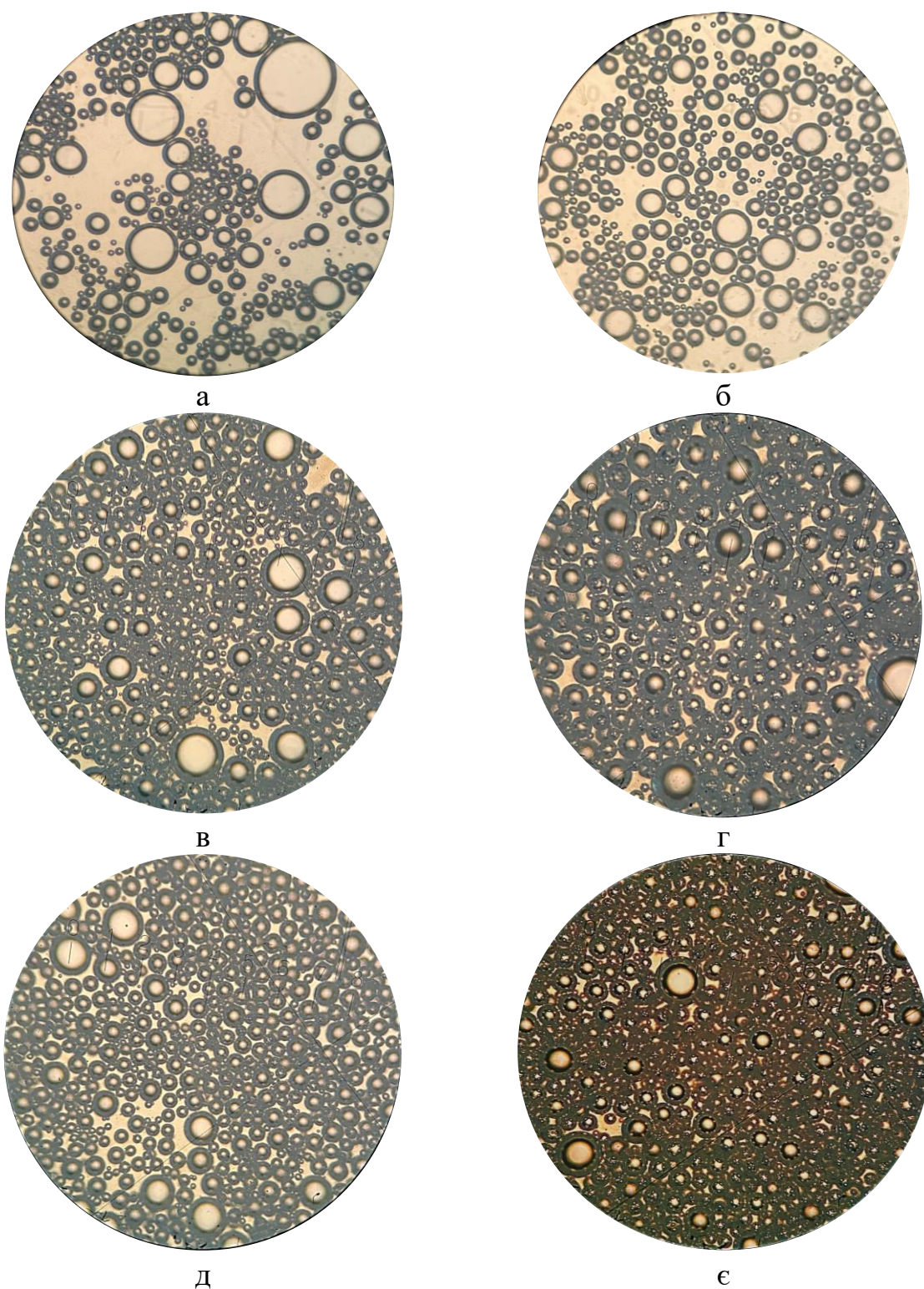


Рисунок 5.5 – Мікрофотографії м'якого морозива за збільшення у 160 разів: (а) – контрольний зразок морозива без стабілізуючих інгредієнтів; (б) – контрольний зразок морозива, що додатково містить 0,6% стабілізуючої системи Cremodan SI 320; (в) – зразок морозива, що містить 0,25% β -глюкану з вівса; (г) – зразок морозива, що містить 0,5% β -глюкану з вівса; (д) – зразок морозива, що

містить 0,25% β -глюкану з дріжджів; (є) – зразок морозива, що містить 0,5% β -глюкану з дріжджів.

Зовнішній вигляд м'якого морозива після фризювання представлений на рис. 5.6.

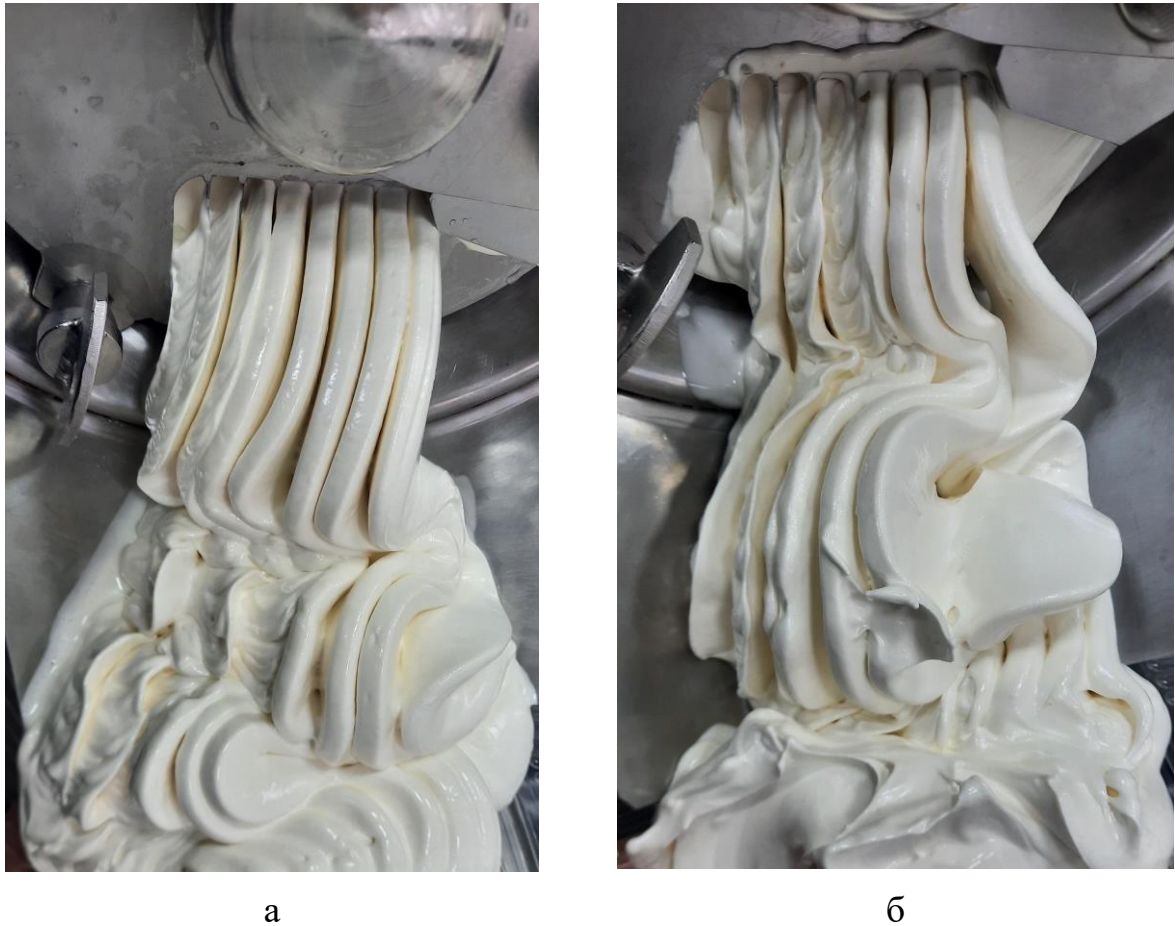


Рисунок 5.6 – Зовнішній вигляд м'якого морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного на виході з фризюру: а – з β -глюканом вівса, б – з β -глюканом дріжджів.

Для розуміння змін у текстурі морозива в присутності β -глюканів було проведено порівняльний аналіз показників текстури контрольного і дослідних зразків (табл 5.6).

Таблиця 5.6 – Параметри текстури морозива сироваткового ($p \leq 0,05$; $n=3$)

Показник	К	0,6%СС	0,25%БГВ	0,5%БГВ	0,25%БГД	0,5%БГД
1 день						
Твердість, Н	8,52±0,18	9,79±0,24	8,02±0,12	7,13 ±0,15	4,89±0,20	3,43 ± 0,10
Клейкість, мДж	1,56±0,01	1,70±0,05	1,27±0,07	1,02 ±0,08	1,69±0,03	1,67 ± 0,04
Адгезійна сила, Н	0,73±0,01	0,75±0,02	0,56±0,01	0,48 ±0,02	0,61±0,01	0,45 ± 0,01
Тягучість, мм	1,10±0,01	1,22±0,02	1,05±0,02	0,80 ±0,04	1,38±0,02	1,61 ± 0,07
Сила тягучості, мДж	0,60±0,01	0,70±0,01	0,41±0,01	0,30±0,01	0,62±0,01	0,50 ± 0,02
Відновлювальна деформація, мм	0,45±0,01	0,60±0,01	0,52±0,02	0,41±0,02	0,75±0,02	0,82 ± 0,02
1 місяць						
Твердість, Н	12,27±0,34	14,46 ±0,24	8,54±0,07	9,98 ±0,27	6,91± 0,21	5,63±0,19
Клейкість, мДж	1,00±0,02	1,02 ±0,01	2,08±0,04	2,30 ±0,08	1,87±0,08	0,91±0,02
Адгезійна сила, Н	0,38±0,01	0,47 ±0,02	0,80±0,01	0,79 ±0,01	0,58±0,01	0,32 ±0,01
Тягучість, мм	0,96±0,01	1,41 ±0,01	1,43±0,05	1,81±0,02	1,53±0,06	1,86±0,04
Сила тягучості, мДж	0,51±0,01	0,57 ±0,02	1,21±0,02	1,05 ±0,01	0,52±0,01	0,30±0,01
Відновлювальна деформація, мм	0,82±0,01	1,23 ±0,03	0,98±0,01	1,01±0,04	1,34±0,01	1,43 0,01

Присутність β -глюканів у сумішах морозива призводить до помітних змін у кількох ключових параметрах його текстури. Обидва β -глюкани загалом пом'якшують морозиво, що узгоджується з доведеною здатністю полісахаридів як структурних модифікаторів зменшувати силу, необхідну для проникнення в матрицю морозива (Tolve et al., 2024). Зокрема, на 1-й день морозиво з 0,25% β -глюкану з дріжджів продемонструвало значне зниження твердості порівняно з контролем, що свідчить про здатність цього полісахариду ефективно знижувати текстурну жорсткість продукту. β -глюкан вівса також зменшує жорсткість морозива, але цей ефект є менш вираженим.

Щодо адгезії та адгезійної сили, які відносяться до липкості та сили, необхідної для відокремлення морозива від поверхні, обидва параметри показали тенденції, що узгоджуються з ефектом пом'якшення, який спостерігався у випадку з твердістю. Зменшення липкості та сили зчеплення у морозиві з β -глюканами вказує на потенційну зміну способу взаємодії морозива з поверхнями, що, безумовно, впливатиме на органолептичне сприйняття продукту споживачами.

Показник тягучості, який вимірює схильність морозива демонструвати еластичну поведінку при розтягуванні, вказує на отримання доволі різних результатів. На перший день морозиво з β -глюканом вівса показало меншу еластичність, порівняно з контролем і зразком з β -глюканом дріжджів. Це свідчить про те, що вівсяний β -глюкан може впливати на еластичність і розтяжність матриці морозива в інший спосіб, ніж дріжджовий β -глюкан. Таке явище може бути обумовлено тим, що вівсяний β -глюкан зазвичай виявляє псевдопластичну поведінку в молочних харчових системах (Aljewicz et al., 2021; Li et al., 2023), в той час як β -глюкан з дріжджів забезпечує значно нижчу міцність мережі гелю (Tomczyńska-Mleko et al., 2024).

Відновлювана деформація, що вимірює здатність морозива повертатися до початкової форми після деформації, вказує на те, що β -глюкани впливають на процес відновлення, причому β -глюкан з вівса показав більш виражений ефект на 1-й день порівняно з дріжджовим β -глюканом. Виявлена закономірність

підтверджує те, що вівсяний β -глюкан може покращувати еластичні властивості морозива, потенційно сприяючи покращенню структури та збереженню форми під час зберігання.

Таким чином, за сукупним впливом β -глюканів на параметри текстури і фізико-хімічні та термофізичні показники раціональною є масова частка цих полісахаридів у складі морозива сироваткового на рівні 0,5%.

5.4. Розробка оригінальних рецептур морозива ацидофільно-сироваткового

На основі отриманих даних щодо раціонального вмісту β -глюканів замість комерційної стабілізаційної системи було розроблено рецептури морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного: 1 – з β -глюканом вівса, 2 – з β -глюканом дріжджів (табл. 5.7).

Таблиця 5.7 – Рецептури морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного

Інгредієнти, %	Позначення зразків морозива	
	1	2
Гідролізований концентрат демінералізованої сироватки	75,0	75,0
Цукор білий кристалічний	9,0	9,0
Ізолят сироваткових білків 90%	3,0	3,0
β -глюкан з вівса	0,5	–
β -глюкан з дріжджів	–	0,5
Активована закваска	3,0	3,0
Ванілін	0,1	0,1
Вода	9,4	9,4
Всього	100,0	100,0

З метою розширення асортиментного ряду морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного було обрано найбільш популярні харчосмакові наповнювачі за їх відомої раціональної частки у морозиві, відповідно до «Типової технологічної інструкції з виробництва морозива молочного, вершкового, пломбіру; плодово-ягідного, ароматичного, щербету, льоду; морозива з комбінованим складом сировини» (2008) за найкращої сумісності з натуральними стабілізаторами структури, а саме з β -глюканом вівса (табл. 5.8) та β -глюканом дріжджів (табл. 5.9).

Таблиця 5.8 – Рецептури морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного з β -глюканом вівса та харчосмаковими наповнювачами

Інгредієнти, %	Позначення зразків морозива			
	1	2	3	4
Гідролізований концентрат демінералізованої сироватки	75,0	75,0	75,0	75,0
Цукор білий кристалічний	9,0	9,0	9,0	9,0
Ізолят сироваткових білків 90%	3,0	3,0	3,0	3,0
β -глюкан з вівса	0,5	0,5	0,5	0,5
Активована закваска	3,0	3,0	3,0	3,0
Ядра горіхів (арахісу)	6,0	–	–	–
Мармелад (шматочки, крихти)	–	6,0	–	–
Суміш сухофруктів (цукати, родзинки, курага)	–	–	6,0	–
Мак	–	–	–	2,0
Ванілін	0,01	0,01	0,01	0,01
Вода	3,49	3,49	3,49	7,49
Всього	100,0	100,0	100,0	100,0

Таблиця 5.9 – Рецептури морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного з β -глюканом дріжджів та харчосмаковими наповнювачами

Інгредієнти, %	Позначення зразків морозива			
	1	2	3	4
Гідролізований концентрат демінералізованої сироватки	75,0	75,0	75,0	75,0
Цукор білий кристалічний	9,0	9,0	9,0	9,0
Ізолят сироваткових білків 90%	3,0	3,0	3,0	3,0
β -глюкан з вівса	0,5	0,5	0,5	0,5
Активована закваска	3,0	3,0	3,0	3,0
Ядра горіхів (арахісу)	6,0	–	–	–
Мед	–	2,0	–	–
Суміш сухофруктів (цукати, родзинки, курага)	–	–	4,0	–
Карамель	–	–	–	1,0
Ванілін	0,01	0,01	0,01	0,01
Вода	3,49	7,49	5,49	8,49
Всього	100,0	100,0	100,0	100,0

Представлені у табл. 5.8 і табл. 5.9 рецептури дозволять розширити асортимент морозива ацидофільно-сироваткового і підтримувати стабільно високий попит споживачів на морозиво підвищеної харчової цінності з оригінальними органолептичними властивостями.

Висновки до розділу 5

1. Встановлено суттєвий вплив β -глюканів на реологічні та фізико-хімічні характеристики морозива сироваткового. Стабілізаційна система Cremodan SI 320 (0,6%) знижує кріоскопічну температуру, порівняно з контрольним зразком без стабілізаторів, і демонструє позитивний вплив на якість морозива. β -глюкан з вівса (0,25–0,5%) найбільше впливає на зниження кріоскопічної температури та підвищення збитості та опору до танення. β -глюкан з дріжджів (0,25–0,5%) призводить до підвищення температури замерзання продукту, що супроводжується зниженням стійкості до плавлення після одного тижня зберігання порівняно з системою стабілізації. Дріжджовий β -глюкан підвищує точку замерзання та забезпечує трохи нижчі значення збитості та опору до танення, ніж вівсяний β -глюкан.

2. Дослідження процесу рекристалізації вільної води у зразках морозива показало, що Cremodan SI 320 стабілізує розмір кристалів льоду на рівні $20,50 \pm 0,77$ мкм протягом одного тижня, тоді як у контрольному зразку без стабілізаторів діаметр кристалів досягав $25,01 \pm 1,06$ мкм. β -глюкан з вівса (0,25–0,5%) демонстрував тенденцію до збільшення кристалів льоду при зберіганні морозива до одного місяця з $16,31 \pm 0,15$ мкм до $20,01 \pm 0,72$ мкм. Зразок, що містив 0,25% дріжджового β -глюкану, відрізнявся найдрібнішими кристалами льоду ($8,49 \pm 0,37$ мкм у перший день) з подальшим мінімальним зростанням до $9,52 \pm 0,16$ мкм через один місяць.

3. β -глюкани загалом пом'якшують морозиво, однак вівсяний β -глюкан значно покращує еластичні властивості морозива, що позитивно впливає на структуру продукту. Застосування вівсяного та дріжджового β -глюкану у складі морозива загалом покращує кремоподібність та липкість.

4. Обґрунтовано рецептурний склад морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного з харчосмаковими наповнювачами та без них.

РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЇ МОРОЗИВА АЦИДОФІЛЬНО-СИРОВАТКОВОГО НИЗЬКОЛАКТОЗНОГО

6.1. Підбір параметрів окремих технологічних операцій

На попередньому етапі дослідження було обґрунтовано режими ферментації рідких концентратів сироватки, що є основою для виробництва морозива. Однак, не менш важливим є процес визрівання, що впливає на подальше проходження процесу фризювання та формування якісних показників морозива, зокрема, збитість та розподілення бульбашок повітря в товщі продукту.

На попередніх етапах експерименту тривалість визрівання становила 12 год, однак враховуючи застосування гідроколоїдів (білки, полісахариди) у складі морозива ацидофільно-сироваткового доцільним є дослідження можливості раціоналізації даного процесу за рахунок скорочення тривалості визрівання без негативного впливу на якісні показники готового продукту. Використання харчосмакових наповнювачів у складі морозива ацидофільно-сироваткового також може опосередковано впливати на формування показників якості під час визрівання сумішей.

Згідно з «Типовою технологічною інструкцією з виробництва морозива молочного, вершкового, пломбіру; плодово-ягідного, ароматичного, щербету, льоду; морозива з комбінованим складом сировини» (2008) тривалість визрівання для морозива повинна становити не менше 2-х годин.

Саме тому було досліджено якісні показники морозива, а саме збитість та середній діаметр бульбашок повітря, без визрівання (контроль) та після визрівання тривалістю 2, 4, 6, 8, 10 та 12 год.

На рисунках позначення зразків відповідає їх позначенню у рецептурі, що наведена у розділі 5 (табл. 5.7).

Збитість морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного (рецептура – таблиця 5.7) представлена на рис. 6.1.

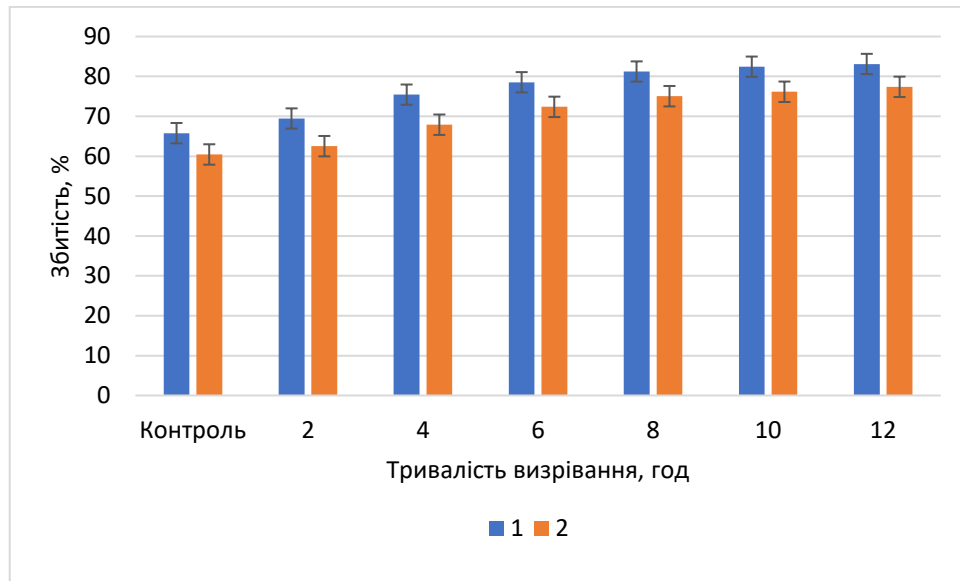


Рисунок 6.1 – Збитість морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного

На наступному етапі досліджено мікроструктуру м'якого морозива після різної тривалості визрівання та фризрування. Стан повітряної фази морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного наведено на рис.6.4.

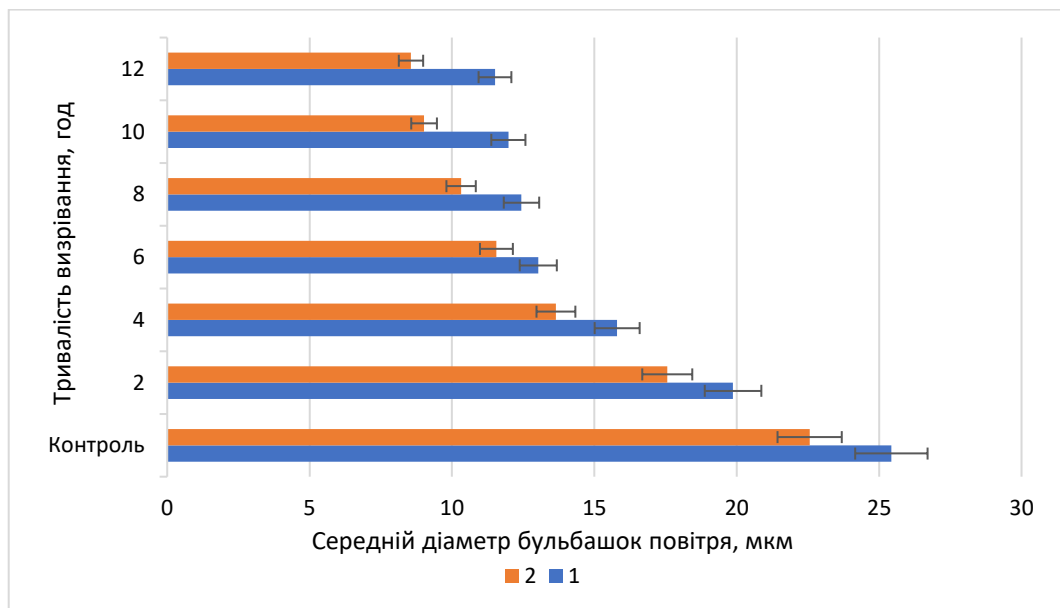


Рисунок 6.2 – Середній діаметр повітряних бульбашок морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного

З отриманих даних можна побачити (рис. 6.1), що збитість морозива ацидофільно-сироваткового без харчосмакових наповнювачів є задовільною (понад 60%) навіть без визрівання, що свідчить про високий ступінь структурування сумішей, які містять біополімери, зокрема білки та полісахариди. Середній діаметр бульбашок повітря (рис. 6.2) також вказує на насичення суміші морозива однорідними та невеликими бульбашками (середній діаметр – не більше 25,43 мкм), що забезпечує задовільний показник збитості.

Харчосмакові наповнювачі (горіхи, сухофрукти, мармелад, карамель, мак, мед) додають у вже відфризероване м'яке морозива, яке насосами перекачують від фризера до дозувально-формуального обладнання за допомогою фруктоподавачів, вмонтованих прямо у трубопровід. Саме тому вони не мають впливу на процес визрівання морозива.

Отримані дані вказують на те, що морозиво ацидофільно-сироваткове низькоалктозне можна виготовляти без операції визрівання через високий ступінь структурування сумішей.

6.2. Розробка технологічної блок-діаграми та апаратурно-технологічної схеми виробництва морозива сироваткового

Розроблення технології морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного дало змогу спроектувати технологічну схему виробництва та описати основні операції (рис. 6.7).

Сировина, що надходить на виробництво, підлягає вхідному контролю якості. Перевіряється наявність супровідних документів (товаро-транспортна накладна, посвідчення якості, протоколи лабораторних досліджень тощо). Представник внутрішньої лабораторії підприємства проводить огляд санітарного стану транспорту, що привозить сировину, та робить відповідний запис у карті контролю. Після дозволу лабораторії на прийняття матеріалів відбувається їх облік та реєстрація в електронній системі.

Сипка сировина направляється на зберігання у сухий склад, де підтримуються наступні режими зберігання:

- для сироватки сухої демінералізованої – температура на рівні 5–20°C, вологість не більше 75%;

- для решти компонентів – температура на рівні 5–25°C, вологість не більше 75%.

ФП зберігають у спеціально відведеному холодильнику, температура в якому має становити не вище 10°C.

ЗП зберігають у морозильному бонеті, температура в якому підтримуються не вище ніж мінус 18°C.

Для виготовлення рідкого гідролізованого концентрату сухої демінералізованої сироватку відновлюють у питній воді за температури 40–45°C. Отримані концентрати фільтрують та пастеризують за температури 74–76°C впродовж 3–5 хв та охолоджують до температури заквашування 40–43°C. Гідроліз лактози проводять за допомогою ферментного препарату та попередньо активованого ЗП.

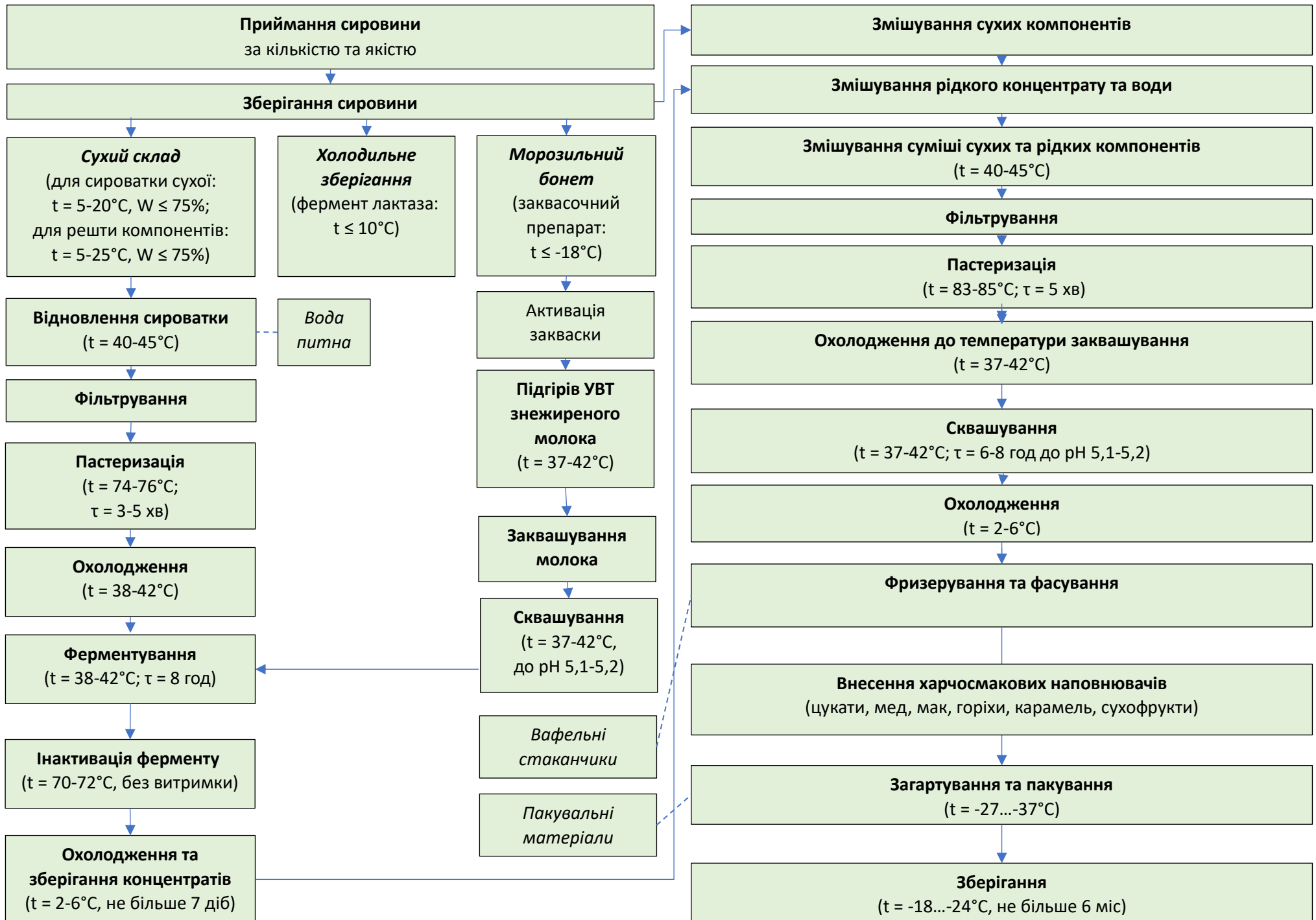
Для активації заквашувальної культури знежирене УВТ-молоко підігривають до температури заквашування 37–42°C. Заквасочний препарат вносять у підготовлене молоко та ферментують його до рН 5,1–5,2 од.

Після закінчення процесу гідролізу лактози у рідких концентратах сироватки проводять інактивацію ферментного препарату шляхом підігрівання концентратів до температури 70–72°C без витримки з наступним охолодженням до температури 2–6°C. Готові рідкі концентрати зберігають не більше 7-ми діб.

Для отримання сумішей морозива сухі компоненти відповідно до рецептури змішують та додають до суміші рідкого концентрату сироватки та води, попередньо нагрітої до температури 40–45°C.

Отримані суміші фільтрують, пастеризують за температури 83–85°C протягом 5 хв, охолоджують до температури заквашування 38–42°C і проводять сквашування попередньо активованою закваскою.\

Процес сквашування сумішей проводять до моменту досягнення рН 5,1–5,2 з подальшим охолодженням до температури 2–6°C.



Одразу проводять фризеривання сумішей морозива сироваткового за допомогою фризерів різної конструкції, принципу дії та потужності проводять відповідно до рекомендацій до експлуатації обладнання різних марок.

Харчосмакові наповнювачі (горіхи, сухофрукти, мармелад, карамель, мак, мед) додають у вже відфризероване м'яке морозива, яке насосами перекачують від фризера до дозувально-формуального обладнання за допомогою фруктоподавачів, вмонтованих прямо у трубопровід.

Відфризеровані суміші морозива сироваткового фасують у вафельні вироби, полімерні стаканчики, коробочки, відерця та іншу споживчу тару у потоці. Після цього морозиво надходить у загартувальні тунелі, де за температури $-27\dots-35^{\circ}\text{C}$ відбувається його загартування. Готовий продукт упаковують у гофроящики, які складають на палети та обгортають транспортною плівкою.

Подальше дозагартовування та зберігання відбувається у морозильних камерах за температури $-18\dots-24^{\circ}\text{C}$ протягом 6 міс. Апаратурно-технологічна схема відображена на рис. 6.8.

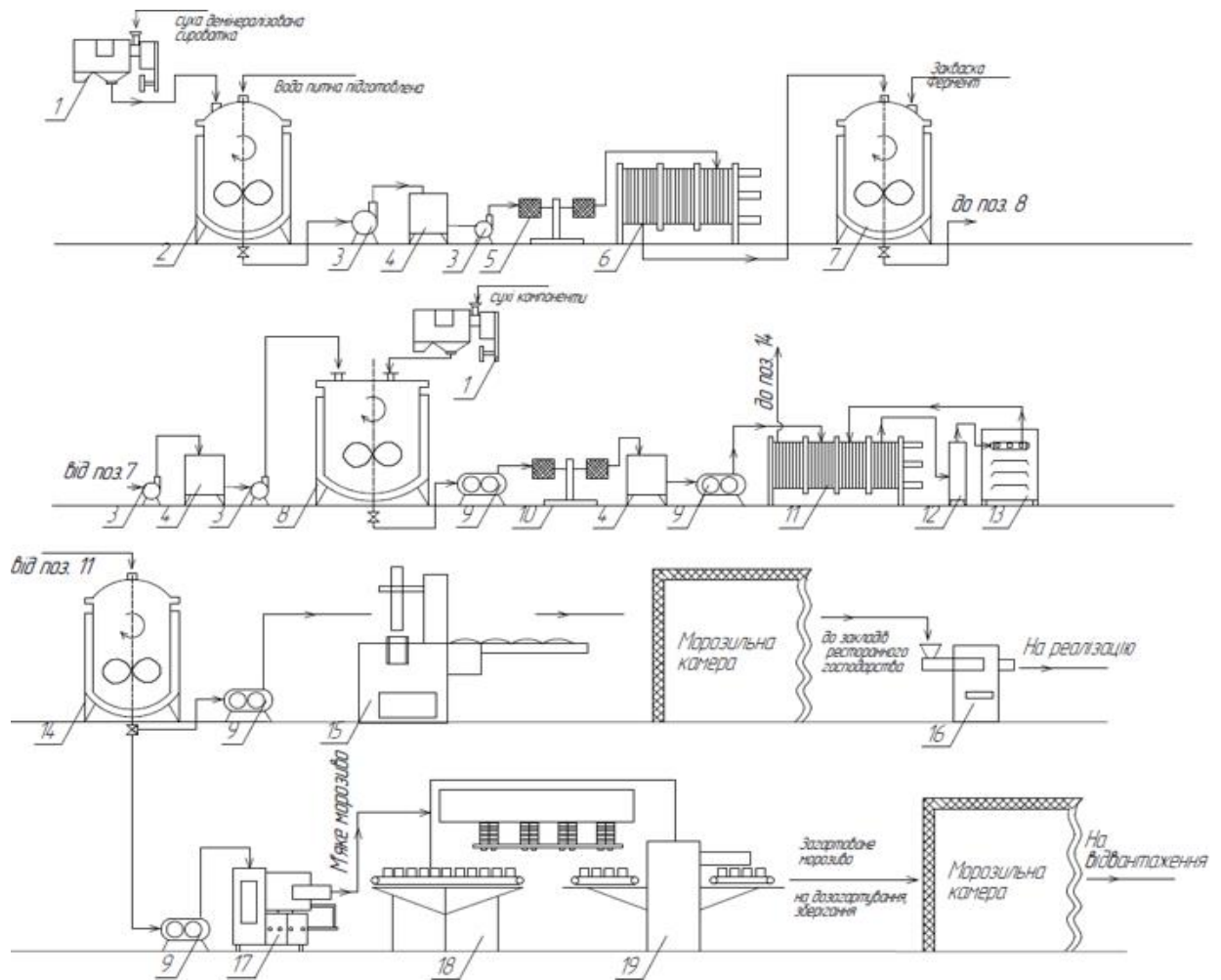


Рисунок 6.8 – Принципова апаратурно-технологічна схема виробництва морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного: 1 – просіювач, 2 – резервуар для відновлення сухої сироватки, 3 – насос, 4 – зрівнювальний бочок, 5 – фільтр, 6 – трьохсекційна пастеризаційно-охолоджувальна установка, 7 – резервуар для ферментації, 8 – резервуар для складання суміші, 9 – насос для в'язких систем, 10 – фільтр, 11 – чотирьохсекційна пастеризаційно-охолоджувальна установка, 12 - охолоджувач, 13 – гомогенізатор, 14 – резервуар для сквашування суміші, 15 – фризер, 16 – фасувальний автомат, 17 – фризер, 18 – загартувальний тунель, 19 – фасувальний автомат

6.3. Дослідження якісних показників морозива ацидофільно-сироваткового

6.3.1. Фізико-хімічні показники

У табл. 6.1 наведено хімічний склад та енергетичну цінність розроблених видів морозива сироваткового низьколактозного. Масова частка сухих речовин, білка, жиру та вуглеводний склад були визначені дослідним шляхом. Масова частка β -глюкану та харчосмакових наповнювачів були отримані розрахунковим методом відповідно до рецептур, що наведені у табл. 5.7–5.9.

Енергетична цінність та калорійність готового продукту була обчислена розрахунковим методом із використанням даних щодо вмісту білка, жиру та вуглеводів у використовуваній сировині.

Відповідно до отриманих даних за вмістом білка, всі види морозива можна віднести до продуктів, збагачених білком. Дане визначення означає, що мінімум 12% від загальної енергетичної цінності у продукті припадає саме на білок.

За вмістом жиру морозиво сироваткове можна віднести до нежирних видів, окрім рецептур, де застосовують горіхи шматочками в якості харчосмакового наповнювача. Таке морозиво за масовою часткою жиру класифікується як низькожирне. Вуглеводна складова продукту представлена в основному продуктами гідролізу лактози (30,1%) та залишковою кількістю лактози (0,7%), що дозволяє класифікувати даний продукт як такий що є низьколактозним (не більше 1% лактози).

Масова частка харчосмакових наповнювачів за їх наявності у рецептурі варіює від 1 до 6% та забезпечує надання оригінальних смакових якостей готовому продукту. За масовою часткою сухих речовин (43,3–49,3%) всі види морозива відповідають традиційним типам морозива (вміст жиру 15%), що забезпечує прогнозоване формування показників якості морозива під час його виробництва та подальшого зберігання. Якісні показники морозива сироваткового низьколактозного представлені у табл. 6.2–6.4.

Таблиця 6.1 – Хімічний склад морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного

Показник	Рецептура 1 (табл. 5.7)		Рецептура 2 (табл. 5.8)				Рецептура 3 (табл. 5.9)			
	1	2	1	2	3	4	1	2	3	4
М. ч. сух. реч., %, у тому числі:	43,3	43,3	49,3	49,3	49,3	47,3	49,3	45,2	47,3	44,2
- білків	6,6	6,6	7,7	6,6	6,6	6,8	7,7	6,6	6,6	6,6
- жирів	0,4	0,4	3,1	0,4	0,4	0,8	3,1	0,4	0,4	0,4
- загальних вуглеводів	40,7	40,7	41,6	44,7	44,8	41,0	41,6	41,5	44,8	42,0
- лактози	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
- моносахаридів	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1	30,1
- харчових волокон	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Енергетична цінність, кДж на 100 г	665,7	665,7	808,1	727,7	746,1	709,7	808,1	691,4	719,3	681,6
Калорійність, ккал на 100 г	159,0	159,0	193,0	173,8	178,2	169,5	193,0	165,1	171,8	162,8

Таблиця 6.2 – Якісні показники морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного (рецептура – табл. 5.7)

Показник	Номер прикладу	
	1	2
Збитість, %	65,8	60,4
Опір до танення (10 см ³ плаву), хв	48,5	43,2
Активна кислотність, од	6,21	6,18
Ефективна в'язкість, мПа×с	610,7	595,3

Таблиця 6.3 – Якісні показники морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного з β-глюканом вівса та харчосмаковими наповнювачами (рецептура – табл. 5.8)

Показник	Номер прикладу			
	1	2	3	4
Збитість, %	63,4	60,5	64,0	63,4
Опір до танення (10 см ³ плаву), хв	53,6	49,5	45,0	44,7
Активна кислотність, од	6,15	6,23	6,20	6,11
Ефективна в'язкість, мПа×с	618,9	624,3	615,0	611,2

Таблиця 6.4 – Якісні показники морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного з БГД та харчосмаковими наповнювачами (рецептура – табл. 5.9)

Показник	Номер прикладу			
	1	2	3	4
Збитість, %	63,4	60,5	64,0	64,5
Опір до танення (10 см ³ плаву), хв	46,8	43,6	42,3	43,8
Активна кислотність, од	6,16	6,20	6,25	6,32
Ефективна в'язкість, мПа×с	605,4	609,1	598,2	600,5

З наведених даних (табл. 6.2–6.4) щодо якості розроблених складів морозива можна побачити, що збитість для всіх видів морозива становить не нижче 60%, що відповідає рекомендованим виробничим вимогам з виробництва морозива. Щодо опору до танення та ефективної в'язкості, то їх значення є більшим для тих видів морозива, що містять БГВ в якості стабілізатора структури.

Загалом, ефективна в'язкість сумішей морозива знаходиться у рекомендованих межах (350–850 мПа×с) для всіх видів морозива. Активна кислотність готового продукту знаходиться у межах 6,11–6,32 в залежності від використовуваного виду харчосмакової добавки.

6.3.2. Біологічна цінність

Для розрахунку БЦ продукту спочатку було досліджено його амінокислотний склад (табл. 6.5). В якості бази порівняння було обрано класичний склад морозива сироваткового, що виготовляється на основі сухої або свіжої сироватки (табл. 4.2, приклад 1), базовий склад морозива на основі рідкого гідролізованого концентрату сироватки (табл. 4.2, приклад 3) та склад морозива, збагачений 3% ІСБ (табл. 5.7, приклад 1).

Таблиця 6.5 – Амінокислотний склад морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного

Найменування амінокислоти	Зразок 1		Зразок 2		Зразок 3	
	Кількість, мг на 100 г	% по мг	Кількість, мг на 100 г	% по мг	Кількість, мг на 100 г	% по мг
Лізін	0,14	12,84	0,24	9,64	0,45	10,53
Гістидін	0,02	1,83	0,05	1,85	0,07	1,63
Аргінін	0,04	3,67	0,09	3,77	0,13	3,04

Аспарагінова кислота	0,10	9,17	0,29	11,52	0,55	12,75
-------------------------	------	------	------	-------	------	-------

Продовження табл. 6.5

Треонін	0,06	5,50	0,17	6,91	0,27	6,20
Серін	0,05	4,59	0,13	5,20	0,22	5,03
Глутамінова кислота	0,19	17,43	0,41	16,75	0,78	18,21
Пролін	0,08	7,34	0,18	7,44	0,29	6,72
Гліцин	0,03	2,75	0,08	3,04	0,12	2,79
Аланін	0,03	2,75	0,14	5,63	0,25	5,90
Цистін	0,05	4,59	0,07	2,70	0,07	1,66
Валін	0,02	1,83	0,08	3,11	0,15	3,44
Метіонін	0,01	0,92	0,02	0,61	0,07	1,63
Ізолейцин	0,03	2,75	0,10	4,01	0,15	3,52
Лейцин	0,16	14,68	0,25	10,29	0,43	9,95
Тирозин	0,03	2,75	0,08	3,30	0,13	3,12
Фенілаланін	0,05	4,59	0,10	4,22	0,17	3,88
Сума	1,09	100,00	2,48	100,00	4,31	100,00

На основі отриманих даних було здійснено обчислення СКОРу незамінних амінокислот за шкалою ФАО/ВООЗ (табл. 6.6).

Таблиця 6.6 – Амінокислотний СКОР морозива ацидофільно-сироваткового

Найменування амінокислоти	Еталон ФАО/ВООЗ, г/100г «ідеального білка»	Амінокислотний СКОР, %		
		Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
лізин	5,5	233,45	175,27	191,45

треонін	4	137,50	172,75	155,00
---------	---	--------	--------	--------

Продовження табл. 6.6

метіонін + цистин	3,5	157,43	94,57	94,00
валін	5	36,60	62,20	68,80
ізолейцин	4	68,75	100,25	88,00
лейцин	7	209,71	147,00	142,14
фенілаланін + тирозин	6	122,33	125,33	116,67

Далі було обчислено різницю амінокислотного SKOPy для кожної незамінної амінокислоти (табл. 6.7).

Таблиця 6.7 – Різниця амінокислотного SKOPy у дослідних зразках морозива ацидофільно-сироваткового

Найменування амінокислоти	Амінокислотний SKOP, %		
	Зразок 1	Зразок 2	Зразок 3
лізин	133,45	75,27	91,45
треонін	37,50	72,75	55,00
метіонін + цистин	57,43	-5,43	-6,00
валін	-63,40	-37,80	-31,20
ізолейцин	-31,25	0,25	-12,00
лейцин	109,71	47,00	42,14
фенілаланін + тирозин	22,33	25,33	16,67

Різниця амінокислотного SKOPу дає змогу розрахувати КРАС для кожного з видів морозива та отримати значення БЦ (рис. 6.9).

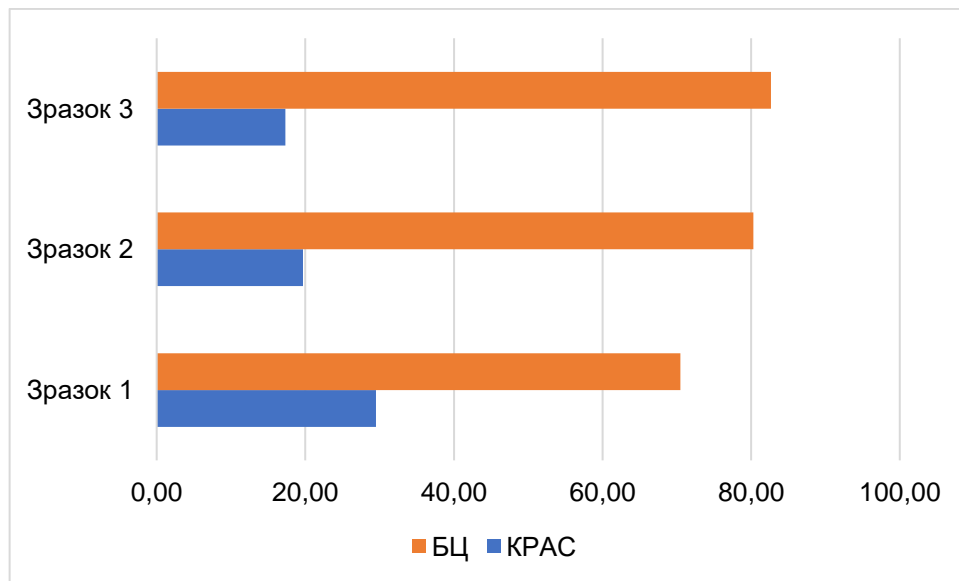


Рисунок 6.9 – КРАС та біологічна цінність морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного

Отримані дані вказують на суттєве збільшення БЦ морозива від 70,47 до 80,29% при його виробництві на основі гідролізованого концентрату сироватки. Подальше введення 3% ІСБ підвищує БЦ до 82,66%.

6.3.3. Органолептична оцінка та мікробіологічні показники

На початку дослідження було проведено дескрипторний аналіз органолептичної оцінки морозива. Для цього був розроблений словник дескрипторів, що описують шість критеріїв якості. Стандарт ISO 13299:2016 пропонує до застосування велику кількість дескрипторів для кожного з показників якості, з яких тільки для запаху та аромату їх наведено 30. Зважаючи на те, що зі збільшенням кількості дескрипторів, ефективність оцінювання експертами може знижуватися, деякі вчені рекомендують не застосовувати одночасно більше 5–10 для одного критерія (Carabante & Prinyawiwatkul, 2018; Salinas-Hernández, González-Aguilar, & Tiznado-Hernández, 2015). Саме тому було вирішено обрати 5 дескрипторів для кожного критерія якості, що найбільш точно характеризують даний вид морозива.

Результати органолептичної оцінки дескрипторним методом наведені у табл. 6.8.

продовження табл. 6.8

Критерій 4. Консистенція										
Збитість	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,5	4,0	4,5
Без піщанистості	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,0
Щільність	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,5	5,0	5,0	4,0	4,0
Дрібні кристали льоду	5,0	5,0	5,0	4,5	4,5	5,0	5,0	5,0	4,0	4,5
Відсутність сніжистості	4,5	4,5	5,0	5,0	5,0	5,0	4,5	5,0	5,0	4,5
Критерій 5. Характер плавлення										
Не водяниста маса	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,5	5,0	5,0	4,5	5,0
Помірне (не швидке) танення	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	4,5
Без розшарування	5,0	5,0	5,0	4,5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Без згортання	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Без піноутворення	5,0	5,0	5,0	5,0	4,5	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Критерій 6. Смак і післясмак										
Кисломолочний	4,0	4,5	4,0	4,0	4,0	3,5	4,5	4,0	4,0	4,0
Молочний	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
З легкою кислінкою	4,5	5,0	4,5	5,0	5,0	5,0	4,5	4,0	4,0	4,0
Сироватковий	4,5	5,0	4,0	4,0	4,0	4,5	4,5	4,0	4,0	4,0
Без сторонніх смаків	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0
Інтегральна оцінка	96,0	98,0	96,0	94,0	96,0	96,0	98,0	96,0	94,0	94,0

Коефіцієнт конкордації, що відображає узгодженість думок експертів щодо результатів органолептичного оцінювання, є величиною у межах 0–1 одиниць. Відомо, що отримані значення можна вважати достовірними, якщо $W > 0,5$ (Carrasco & Jover, 2005). Так, для дескрипторів критеріїв якості (табл. 6.8) вони коливалися у межах 0,61–0,89 одиниць, в той час як для експертів – в діапазоні 0,85–0,92 одиниць, що свідчить про відповідність підготовки експертів та умов проведення оцінювання вимогам міжнародних стандартів.

Перевірка значущості коефіцієнта конкордації була здійснена за критерієм Пірсона (χ^2), що коливався у межах 22,4–35,2 одиниць для дескрипторів критеріїв якості, в той час як його табличне значення (χ^2_a) становило 13,08 одиниць. Оскільки виконується рівність $\chi^2 > \chi^2_a$, точність отриманих даних підтверджується, що дозволяє вважати коефіцієнт конкордації значущим.

Дескриптори критерію «характер плавлення» вказують й на те, що β -глюкан може виявляти комплекс технологічних функцій, зокрема емульгуючі, вологозв'язучі та піноутворюючі властивості, що потребує додаткових досліджень. Отримані висновки за результатами застосування даного методу органолептичної оцінки морозива співпадають з даними вчених, що проводили дослідження фізико-хімічних характеристик продуктів з β -глюканом (Obadi, Sun, & Xu, 2021; Du, Meenu, Liu, & Xu, 2019; Maheshwari, Sowrirajan, & Joseph, 2017), що підтверджує їхню об'єктивність.

За результатами органолептичної оцінки усі зразки морозива можуть бути класифіковані як такі, що володіють високими показниками якості.

Мікробіологічні показники морозива під час зберігання було досліджено на 1 день після виготовлення, через 6 та 12 місяців зберігання (табл. 6.9).

За результатами дослідження встановлено, що рівень пробіотичної культури *L. acidophilus* протягом строку зберігання морозива становить не менше 10^7 КУО/г. Колі-форми для всіх зразків морозива не виявлено в 0,01 г продукту (для морозива з сушеними фруктами, горіхами, родзинками) та в 0,1 г продукту для всіх інших видів.

Таблиця 6.9 – Мікробіологічні показники морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного

Рецептура	Зразок	Показник			
		БГКП, в 0,1 г (в 0,01 г для морозива з сушеними фруктами, горіхами, родзинками)	Дріжджі, в 1 г морозива з сушеними фруктами, горіхами, родзинками	Плісняві гриби, в 1 г в 1 г морозива з сушеними фруктами, горіхами, родзинками	Кількість пробіотичних бактерій, КУО в 1 г
1-й день					
Рецептура 1 (табл. 5.7)	1	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	10 ⁹
	2				
Рецептура 2 (табл. 5.8)	1				
	2				
	3				
	4				
Рецептура 3 (табл. 5.9)	1				
	2				
	3				
	4				
6 місяців					
Рецептура 1 (табл. 5.7)	1	Не виявлено	Не виявлено	Не виявлено	10 ⁹
	2				
Рецептура 2 (табл. 5.8)	1				
	2				
	3				
	4				
Рецептура 3 (табл. 5.9)	1				
	2				
	3				
	4				
					10 ⁸
					10 ⁸
					10 ⁸

Продовження табл. 6.9

12 місяців					
Рецептура 1 (табл. 5.7)	1	Не виявлено	—	—	10 ⁷
	2		—	—	
Рецептура 2 (табл. 5.8)	1		50	50	
	2		—	—	
	3		50	100	
	4		—	—	
Рецептура 3 (табл. 5.9)	1		50	50	
	2		—	—	
	3		—	100	
	4		—	—	

Наявність дріжджів та пліснявих грибів досліджували тільки для морозива з сушеними фруктами, горіхами, родзинками. Встановлено, що вони були відсутні протягом 6-ти місяців зберігання. Після 12 місяців зберігання їх рівень не перевищував допустимих законодавчих меж (100 КУО в 1 г продукту для дріжджів та 500 КУО в 1 г продукту для пліснявих грибів).

6.4. Промислова апробація наукової розробки

Розроблено проекти нормативної документації ТУ У 10.5-02070938-333:2024 «Рідкі гідролізовані концентрати демінералізованої сироватки» та ТУ У 10.5-02070938-334:2024 «Морозиво ацидофільне», а також відповідні технологічні інструкції ТІ ТУ У 10.5-02070938-333:2024 «Рідкі гідролізовані концентрати демінералізованої сироватки» та ТІ ТУ У 10.5-02070938-334:2024 «Морозиво ацидофільне» (Додаток Г).

Отримано патенти України на корисну модель (№ 152382 U UA) та винахід (№ 128031 UA) на спосіб виробництва гідролізованого концентрату сироватки (Додаток Д).

Результати наукової розробки впроваджено у навчально-науковий процес кафедри технології молока і молочних продуктів Національного університету харчових технологій (Додаток Е).

Апробацію розробленої технології проведено у виробничих умовах: морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного на ПрАТ «Львівський холодокомбінат» та рідких концентратів сироватки на ТОВ «Кременецьке молоко» (Додаток Е).

6.5. Очікуваний соціально-економічний ефект від впровадження наукової розробки

Калькуляція економічної ефективності від розроблення технології морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного вказує на те, що вартість загальних витрат на виробництво нового виду продукту збільшується у порівнянні з контрольним продуктом від 39438,9 грн/т до 63668,9-74236,9 грн/т.

Таблиця 6.10 – Зведена таблиця витрат на виробництво морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного

Стаття калькуляції	Витрати на 1 т морозива, грн										
	Морозиво сироваткове	Морозиво ацидофільно-сироваткове з β-глобуліном вівса	Морозиво ацидофільно-сироваткове з β-глобуліном дріжджів	Морозиво ацидофільно-сироваткове з β-глобуліном вівса та горіхами	Морозиво ацидофільно-сироваткове з β-глобуліном вівса та мармеладом	Морозиво ацидофільно-сироваткове з β-глобуліном вівса та сухофруктами	Морозиво ацидофільно-сироваткове з β-глобуліном вівса та маком	Морозиво ацидофільно-сироваткове з β-глобуліном дріжджів та горіхами	Морозиво ацидофільно-сироваткове з β-глобуліном дріжджів та медом	Морозиво ацидофільно-сироваткове з β-глобуліном дріжджів та сухофруктами	Морозиво ацидофільно-сироваткове з β-глобуліном дріжджів та карамеллю
Сировина та основні матеріали, грн	20382,4	37145,5	37166,5	47162,5	43130,5	42689,4	39707,4	47162,4	38804,4	40841,4	37875,2
Допоміжні матеріали, грн	9190,2	9190,2	9190,2	9190,2	9190,2	9190,2	9190,2	9190,2	9190,2	9190,2	9190,2
Енерговитрати, грн	5925,1	7702,6	7702,6	7702,6	7702,6	7702,6	7702,6	7702,6	7702,6	7702,6	7702,6
Заробітна плата основного виробничого персоналу, грн	577,9	912,0	912,0	912,0	912,0	912,0	912,0	912,0	912,0	912,0	912,0
Відрахування на соціальні заходи, грн	127,1	200,6	200,6	200,6	200,6	200,6	200,6	200,6	200,6	200,6	200,6
Витрати на освоєння нових продуктів, грн	-	91,2	91,2	91,2	91,2	91,2	91,2	91,2	91,2	91,2	91,2
Витрати на утримання та експлуатацію устаткування, грн	1502,5	2371,6	2371,6	2371,6	2371,6	2371,6	2371,6	2371,6	2371,6	2371,6	2371,6
Загальновиробничі витрати, грн	1733,7	2736,0	2736,0	2736,0	2736,0	2736,0	2736,0	2736,0	2736,0	2736,0	2736,0
Виробнича собівартість, грн	39438,9	60349,7	60370,7	70366,7	66334,7	65893,6	62911,6	70366,6	62008,6	64045,6	61079,4
Адміністративні витрати, грн*	1183,2	1810,5	1811,1	2111,0	1990,0	1976,8	1887,3	2110,9	1860,2	1921,4	1832,4
Витрати на збут, грн**	985,9	1508,7	1509,3	1759,2	1658,4	1647,3	1572,8	1759,2	1550,2	1601,1	1526,9
Повні витрати, грн.	41608,0	63668,9	63691,1	74236,9	69983,1	69517,8	66371,7	74236,7	65419,1	67568,1	64438,7

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

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

Збільшення витрат на виробництво морозива пов'язано із застосуванням у його складі виключно натуральних інгредієнтів, зокрема гідролізованого концентрату демінералізованої сироватки, ізоляту сироваткових білків та β -глюканів різного походження. Це дає змогу отримати продукт з поліпшеними фізико-хімічними показниками, що мають прогнозований вплив на якість продукту під час довготривалого зберігання.

Соціальний ефект роботи полягає у розширенні асортиментної лінійки морозива за рахунок зниженого вмісту лактози, підвищеного вмісту лактози та наявності пробіотичних бактерій.

Безперечно, що таке морозиво відповідає сучасним вимогам споживачів щодо натурального складу, біологічної та енергетичної цінності.

Висновки до розділу 6

1. Уточнено тривалість визрівання сумішей морозива та встановлено, що даний етап може бути виключений за рахунок достатньої структурованості сумішей вже після охолодження.

2. Розроблено технологічну блок-схему виробництва морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного та описано процес виробництва нового виду продукту.

3. Представлено хімічний склад та показники якості нових видів морозива. Досліджено біологічну цінність та встановлено, що відбувається її збільшення від 70,47 до 80,29% при виробництві морозива на основі гідролізованого концентрату сироватки. Подальше введення 3% ІСБ підвищує БЦ до 82,66%.

4. Проведено органолептичну оцінку розроблених складів морозива дескрипторним методом та досліджено мікробіологічні показники під час зберігання. Встановлено, що морозиво ацидофільно-сироваткове за мікробіологічними показниками відповідає законодавчим вимогам протягом гарантованого терміну зберігання у 12 місяців.

5. Результати наукової розробки впроваджено у навчально-науковий процес кафедри технології молока і молочних продуктів Національного університету харчових технологій. Апробацію розробленої технології проведено у виробничих умовах: морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного на ПрАТ «Львівський холодокомбінат» та рідких концентратів сироватки на ТОВ «Кременецьке молоко».

6. Калькуляція економічної ефективності від розроблення нового виду морозива вказує на збільшення витрат на виробництво через використання виключно натуральних інгредієнтів, що обумовлює вибір преміум сегменту для даного продукту.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній праці за результатами аналітичних та експериментальних даних розроблено технологію морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного, на основі чого сформульовано наступні висновки:

1. Обґрунтовано режими ферментативного гідролізу лактози у рідких концентратах демінералізованої сироватки та встановлено, що за допомогою комбінації ферментного GODO-YNL2 (масова частка препарату – 0,1–0,4%) та заквашувального «*L. acidophilus* LYO 50 DCU-S» (3%) препаратів можна досягти ступеню гідролізу лактози на рівні 96,8–100%. Дослідження вуглеводного складу гідролізованих концентратів сироватки вказує на переважання галактози концентратах 10 та 20%. Для ферментованих 30 та 40%-х концентратів відбувається збільшення масової частки глюкози, що вказує на пригнічення активності ацидофільної палички в умовах підвищеного осмотичного тиску у концентратах.

2. Оптимізовано ступінь заміни цукру у рецептурному складі морозива ацидофільно-сироваткового базового складу на ди- та моносахариди рідких концентратів демінералізованої сироватки. Максимально можливе зниження цукру в перерахунку на сухі речовини рідкого концентрату сироватки при використанні негідролізованого концентрату становить 29%, а для гідролізованого концентрату – 42%.

3. Доведено, що доцільним є додаткове збагачення складу морозива ізолятом сироваткових білків на рівні 3%, що у поєднанні з рідким гідролізованим концентратом сироватки демонструє виражені технологічні функції, такі як підвищення піностійкості та пінозбитості сумішей морозива, поліпшення реологічних характеристик, вплив на показники кольоровості та життєдіяльність пробіотичної культури *L. Acidophilus*. За масовою часткою білка морозиво з ізолятом сироваткових білків (3%) може бути класифіковано як продукт збагачений білком.

4. Науково обґрунтовано рецептурний склад морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного та доведено можливість повної заміни

стабілізаційної системи на β -глюкани вівса та дріжджів (0,25–0,5%), що є натуральними функціонально-технологічними інгредієнтами та забезпечують більш суттєвий вплив на процес рекристалізації вільної води у морозиві порівняно з комерційною системою стабілізації.

5. Встановлено, що можливим є виключення операції визрівання сироваткових сумішей морозива завдяки високому вмісту сухих речовин та ступеню структурування, що позитивно впливають на збитість, опір до танення та мікроструктуру готового продукту.

6. Розроблено технологічні та апаратурні схеми виробництва морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного. Досліджено хімічний склад та біологічну цінність, визначено фізико-хімічні та мікробіологічні показники готового продукту, проведено комплексну органолептичну оцінку за стандартними та спеціальними методами. Встановлено, що готовий продукт відповідає національним вимогам за показниками якості.

7. Розроблено пакет нормативної документації на виробництво рідких концентратів демінералізованої сироватки (ТУ У 10.5-02070938-333:2024 та ТІ до них «Рідкі гідролізовані концентрати демінералізованої сироватки») та морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного (ТУ У 10.5-02070938-334:2024 та ТІ до них «Морозиво ацидофільне»). Отримано патент на спосіб виробництва гідролізованого концентрату (патент України на корисну модель № 152382 U UA та на винахід № 128031 UA). Проведено промислову апробацію наукової розробки у виробничих умовах: морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного на ПрАТ «Львівський холодокомбінат» та рідких концентратів сироватки на ТОВ «Кременецьке молоко». Визначено соціальний ефект роботи, що полягає у розширенні асортиментної лінійки низьколактозного морозива, а також у підвищенні обсягів виробництва продуктів із застосуванням вторинних молочних ресурсів. За комплексом розрахунків доведено економічну доцільність від впровадження розробленої технології.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

Вежлівцева, С. П., Мінорова, А. В., Крушельницька, Н. Л., & Наріжний, С. А. Ефективність штамів з β -галактозидазною активністю у технологіях ферментованих молочних продуктів. Підприємництво, торгівля, маркетинг: стратегії, технології та інновації. електронне видання: матеріали IV Міжнар. наук.-практ. конф. Київ: Київський нац. торг.-екон. ун-т, 2021, 134-136.

Гніцевич, В., Чикун, Н., & Гончар, Ю. (2017). Кінетика ферментолізу лактози молочної сироватки. *Товари і ринки*, 2(1), 97-104.

Даниленко, С. Г., Науменко, О. В., & Потемська, О. І. (2019). Біотехнологія як основа сучасних технологій виробництва харчових продуктів. *Продовольчі ресурси*, 12, 64-73. DOI: 10.31073/foodresources2019-12-07.

Красуля, О., & Грек, О. (2013). Гідроліз лактози молочної сироватки з харчовими волокнами. *Продовольча індустрія АПК*, 1, 38-40.

Літнарівч, Р. М. (2011). Побудова і дослідження математичної моделі за джерелами експериментальних даних методами регресійного аналізу. Навчальний посібник. МЕНУ, Рівне.

Михалевич, А., Поліщук, Г., Осьмак, Т., & Сапіга, В. (2022). Комплексна органолептична оцінка морозива з β -глюканом вівса. *Харчова промисловість*, 31-32, 15-26.

Мінорова, А. В. Рудакова, Т. В. Крушельницька, Н. Л., Моїсєєва, Л. О., Даниленко, С. Г., & Наріжний, С. А. (2021). Біотехнологічні аспекти застосування штамів з β -галактозидазною активністю у виробництві ферментованих молочних продуктів. *Продовольчі ресурси: зб. наук. пр. Ін-т прод. ресурсів НААН України*, 9(16), 117-134. DOI: 10.31073/foodresources2021-16-12.

Поліщук, Г. Є., Гудз, І. С. Технологія морозива. Навч. посібник. – К.: Фірма «ІНКОС», 2008. 220 с.

Потемська, О. І., Кігель, Н. Ф., Даниленко, С. Г., Копилова, К. В. (2017). β -галактозидазна активність бактерій як критерій відбору штамів до складу

бактеріальних препаратів. *Харчова наука і технологія*, 11(3), 35-40. DOI: 10.15673/fst.v11i3.604.

Романчук, І. О., Моїсеєва, Л. О., Мінорова, А. В., Рудакова, Т. В., & Крушельницька, Н. Л. (2023). Дослідження лактазної активності заквашувальних препаратів у молочних сумішах на основі вторинної молочної сировини. *Продовольчі ресурси*, 11(20), 119–129. DOI: 10.31073/foodresources2023-20-12.

Романчук, І., Мінорова, А., Рудакова, Т., & Моїсеєва, Л. (2020). Закономірності ферментативного гідролізу лактози в молочній сировині. *Продовольчі ресурси*, 8(14), 165–174.

Романчук, І., Моїсеєва, Л., Гондар, О., & Рудакова, Т. (2016). Закономірності формування кисломолочних згустків в молочних сумішах з гідролізованою лактозою та підвищеним вмістом сухих речовин. *Продовольчі ресурси*, 4(06), 107–112.

Романчук, І., Моїсеєва, Л., Гондар, О., & Рудакова, Т. (2016). Закономірності формування кисломолочних згустків в молочних сумішах з гідролізованою лактозою та підвищеним вмістом сухих речовин. *Продовольчі ресурси*, 4(06), 107–112.

Сапіга, В., Михалевич, А., Поліщук, Г. (2021). Бета-глюкан з вівса як функціонально-технологічний інгредієнт у складі морозива. Проблеми і практичні підходи виробництва та регулювання використання харчових добавок в країнах Європейського Союзу та в Україні: матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції. Київ: НУХТ, 2021. С. 106-107.

Типова технологічна інструкція з виробництва морозива молочного, вершкового, пломбіру; плодово-ягідного, ароматичного, щербету, льоду; морозива з комбінованим складом сировини: ТТІ 31748658-1-2007 до ДСТУ 4733:2007, 4734:2007, 4735:2007. [Чинна від 2008-01-01]. К.: Асоціація українських виробників «Українське морозиво та заморожені продукти», 2007. 100 с.

Трубнокова, А. А., Шарахматова, Т. Є., Мамінтова, К. О., & Цупра, О. С. (2018). Біотехнологічні аспекти отримання йогуртної основи для виробництва

низьколактозного морозива. *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*, 9(1285), 243-255. DOI: 10.20998/2413-4295.2018.09.35.

Abdel-Haleem, A. M., & Awad, R. A. (2015). Some quality attributes of low fat ice cream substituted with hullless barley flour and barley β -glucan. *Journal of food science and technology*, 52(10), 6425–6434. DOI: 10.1007/s13197-015-1755-x.

Abdullah, M., Saleem, A. M., Zubair, H., Saeed, H. M., Kousar, S., & Shahid, M. (2003). Effect of skim milk in soymilk blend on the quality of ice cream. *Pak J Nut.*, 2, 305–311. DOI: 10.3923/pjn.2003.305.311.

Aboushanab, S. A. S., Vyrova, D. V., Selezneva, I. S., & Ibrahim, M. N. G. (2019). The potential use of β -Glucan in the industry, medicine and cosmetics. *AIP Conference Proceedings*, 2174, 020198. DOI: 10.1063/1.5134349.

Afzaal, M., Saeed, F., Hussain, M., Ismail, Z., Siddeeg, A., Ammar, A. F., & Aljobair, M. O. (2022). Influence of encapsulation on the survival of probiotics in food matrix under simulated stress conditions. *Saudi Journal of Biological Sciences*, 29(9), 103394.

Akal, C., & Yetisemiyen, A. (2016). Use of whey powder and skim milk powder for the production of fermented cream. *Food Science and Technology*, 36, 616–621. DOI: 10.1590/1678-457X.06816.

Akalin A. S., Karagözlü C., & Ünal G. (2008). Rheological properties of reduced-fat and low-fat ice cream containing whey protein isolate and inulin. *European Food Research and Technology*, 227(3), 889-895.

Akalin, A. S., & Erişir, D. (2008). Effects of inulin and oligofructose on the rheological characteristics and probiotic culture survival in low-fat probiotic ice cream. *Journal of Food Science*, 73(4), M184–M188. DOI: 10.1111/j.1750-3841.2008.00728.x.

Akbari, M., Eskandari, M. H., & Davoudi, Z. (2019). Application and functions of fat replacers in low-fat ice cream: A review. *Trends in Food Science & Technology*, 86, 34–40. DOI: 10.1016/j.tifs.2019.02.036.

Akesowan, A. (2009). Influence of soy protein isolate on physical and sensory properties of ice cream. *Thai Journal of Agricultural Science*, 42 (1), 1–6.

Akguel, F. B., Demirhan, E., & Oezbek, B. E. L. M. A. (2012). A Modelling study on skimmed milk lactose hydrolysis and β -galactosidase stability using three reactor types. *International journal of dairy technology*, 65(2), 217–231. DOI: 10.1111/j.1471-0307.2012.00828.x.

Akin, M. B., Akin, M. S., & Kirmaci, Z. (2007). Effects of inulin and sugar levels on the viability of yogurt and probiotic bacteria and the physical and sensory characteristics in probiotic ice-cream. *Food Chemistry*, 104(1), 93–99. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.11.030.

Alfaifi, M. S., & Stathopoulos, C. E. (2010). Effect of egg yolk substitution by sweet whey protein isolate on texture, stability and colour of Gelato-style vanilla ice cream. *International journal of dairy technology*, 63(4), 593-598. DOI: 10.1111/j.1471-0307.2010.00609.x.

Aliabbasi, N., & Emam-Djomeh, Z. (2024). Application of nanotechnology in dairy desserts and ice cream formulation with the emphasize on textural, rheological, antimicrobial, and sensory properties. *eFood*, 5(4), e170.

Aljewicz, M., Florczuk, A., & Dabrowska, A. (2020). Influence of β -glucan structures and contents on the functional properties of low-fat ice cream during storage. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 70(3). DOI: 10.31883/pjfns/120915.

Aljewicz, M., Majcher, M., & Nalepa, B. (2020). A Comprehensive Study of the Impacts of Oat β -Glucan and Bacterial Curdlan on the Activity of Commercial Starter Culture in Yogurt. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 25(22), 5411. DOI: 10.3390/molecules25225411.

Alm, L. (1982). Effect of fermentation on lactose, glucose, and galactose content in milk and suitability of fermented milk products for lactose intolerant individuals. *Journal of dairy science*, 65(3), 346–352. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(82)82198-X.

Alvarez, V. B. (2023). Ice Cream and Frozen Desserts. In *The Sensory Evaluation of Dairy Products*, 281-344.

Alvarez, V. B., Wolters, C. L., Vodovotz, Y., & Ji, T. (2005). Physical Properties of Ice Cream Containing Milk Protein Concentrates. *Journal of Dairy Science*, 88(3), 862-871. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72752-1.

Andrzej, K. M., Małgorzata, M., Sabina, K., Horbańczuk, O. K., & Rodak, E. (2020). Application of rich in β -glucan flours and preparations in bread baked from frozen dough. *Food science and technology international = Ciencia y tecnologia de los alimentos internacional*, 26(1), 53-64. DOI: 10.1177/1082013219865379.

Anttila, H., Sontag-Strohm, T., Salovaara, H. (2004). Viscosity of beta-glucan in oat products. *Agricultural and Food Science*, 13(1-2), 80-87. DOI: 10.2137/1239099041838012.

Antunes, A. E., Silva e Alves, A. T., Gallina, D. A., Trento, F. K., Zacarchenco, P. B., VAN Dender, A. G., Moreno, I., Ormenese, R. D., & Spadoti, L. M. (2014). Development and shelf-life determination of pasteurized, microfiltered, lactose hydrolyzed skim milk. *Journal of dairy science*, 97(9), 5337-5344. DOI: 10.3168/jds.2014-8020.

Arbuckle, W. S. (2013). *Ice Cream*. Springer: New York, NY, USA.

Arellano, M., Benkhelifa, H., Flick, D., & Alvarez, G. (2012). Online ice crystal size measurements during sorbet freezing by means of the focused beam reflectance measurement (FBRM) technology. Influence of operating conditions. *Journal of Food Engineering*, 113(2), 351-359. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2012.05.016.

Arief, M. F., Andini, R. D., Rosyidi, D., & Radiati, L. E. (2023). Effect of Goat Kefir Utilization on Physicochemical Quality and Sensory Attributes of Ice Cream Probiotic. In *Proceedings of the 3rd International Conference on Environmentally Sustainable Animal Industry 2022 (ICESAI 2022)*. 28, 247. Springer Nature.

Arranz, E., Segat, A., Velayos, G., Flynn, C., Brodkorb, A., & Giblin, L. (2023). Dairy and plant based protein beverages: In vitro digestion behaviour and effect on intestinal barrier biomarkers. *Food Research International*, 169, 112815. DOI: 10.1016/j.foodres.2023.112815.

Arslaner, A., Salık, M. A., Özdemir, S., & Akköse, A. (2019). Yogurt ice cream sweetened with sucrose, stevia and honey: Some quality and thermal properties. *Czech Journal of Food Sciences*, 37(6), 446-455.

Atallah, A. A., Morsy, O. M., Abbas, W., Khater, E. G. (2022). Microstructural, Physicochemical, Microbiological, and Organoleptic Characteristics of Sugar- and Fat-

Free Ice Cream from Buffalo Milk. *Foods (Basel, Switzerland)*, 11(3), 490. DOI: 10.3390/foods11030490.

Attia, Y. A., Al-Harhi, M. A., Korish, M. A., & Shiboob, M. H. (2020). Protein and Amino Acid Content in Four Brands of Commercial Table Eggs in Retail Markets in Relation to Human Requirements. *Animals*, 10(3), 406. DOI: 10.3390/ani10030406.

Axentii, M., Stroe, S.-G., & Codină, G. G. (2023). Development and Quality Evaluation of Rigatoni Pasta Enriched with Hemp Seed Meal. *Foods*, 12(9), 1774. DOI: 10.3390/foods12091774.

Azari-Anpar, M., Khomeiri, M., Daraei Garmakhany, A., & Lotfi-Shirazi, S. (2021). Development of camel and cow's milk, low-fat frozen yoghurt incorporated with Qodume Shahri (*Lepidium perfoliatum*) and cress seeds (*Lepidium sativum*) gum: Flow behavior, textural, and sensory attributes' assessment. *Food Science & Nutrition*, 9(3), 1640-1650. DOI: 10.1002/fsn3.2139.

Barros, E. L. da S., Silva, C. C., Canella, M. H. M., Verruck, S., Prestes, A. A., Vargas, M. O., Maran, B. M., Esmerino, E. A., Silva, R., Balthazar, C. F., Calado, V. M. de A., & Prudencio, E. S. (2022). Effect of replacement of milk by block freeze concentrated whey in physicochemical and rheological properties of ice cream. *Food Science and Technology*, 42, e12521. DOI: 10.1590/fst.12521.

Barros, E. L. da S., Silva, C. C., Verruck, S., Canella, M. H. M., Maran, B. M., Esmerino, E. A., Silva, R., & Prudencio, E. S. (2022). Concentrated whey from block freeze concentration or milk-based ice creams on *Bifidobacterium* BB-12 survival under in vitro simulated gastrointestinal conditions. *Food Science and Technology*, 42, e84021. DOI: 10.1590/fst.84021.

Barukčić, I., Jakopović, K. L., & Božanić, R. (2019). Whey and buttermilk—Neglected sources of valuable beverages. In *Natural beverages*, 209-242).

Bass, O., Polischuk, G., & Goncharuk, E. (2017). Investigation of viscous characteristics of ice cream mixtures with starch syrup. *Ukrainian Food Journal*, 6(2), 269-277. DOI: 10.24263/2304-974X-2017-6-2-8.

- Bass, O., Polischuk, G., & Goncharuk, E. (2018). Influence of sweeteners on rheological and qualitative indicators of ice cream. *Ukrainian Food Journal*, 7(1), 41–53. DOI: 10.24263/2304-974X-2018-7-1-5.
- Bealer, E. J., Onissema-Karimu, S., Rivera-Galletti, A., Francis, M., Wilkowski, J., Salas-de la Cruz, D., & Hu, X. (2020). Protein-Polysaccharide Composite Materials: Fabrication and Applications. *Polymers*, 12(2), 464. DOI: 10.3390/polym12020464.
- Bebek, M., Sert, D., & Mercan, E. (2024). Effects of the demineralisation degree on physicochemical, functional, microstructural and powder flow properties of whey powder. *International Dairy Journal*, 156, 105982.
- Beegum, P. S., Nair, J. P., Manikantan, M. R., Pandiselvam, R., Shill, S., Neenu, S., & Hebbar, K. B. (2022). Effect of coconut milk, tender coconut and coconut sugar on the physico-chemical and sensory attributes in ice cream. *Journal of Food Science and Technology*, 1-12.
- Bella, K., Pilli, S., & Rao, P. V. (2023). A comparison of ultrasonic, ozone, and enzyme pre-treatments on cheese whey degradation for enhancement of anaerobic digestion. *Journal of Environmental Management*, 340, 117960.
- Belokurova, E. S., Pankina, I. A., Sevastianova, A. D., Asfondiarova, I. V., & Katkova, N. M. (2021). The effect of functional additives on the indicator “water activity” of biscuit semi-finished products. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 640(2), 022022. DOI: 10.1088/1755-1315/640/2/022022.
- Biswas, P. K., Chakraborty, R., & Choudhuri, U. R. (2002). Effect of blending of soy milk with cow milk on sensory, textural and nutritional qualities of chhana analogue. *Journal of Food Science and Technology (Mysore)*, 39(6), 702–704.
- Blassy, K. I., & Abdeldaiem, A. M. (2024). Using Psyllium Husk Powder as Fat Replacer and Stabilizer to Improve Low Fat Ice Cream Properties. *Journal of Food and Dairy Sciences*, 15(1), 1–6.
- Boaventura, B. C. B., Murakami, A. N. N., Prudêncio, E. S., Maraschin, M., Murakami, F. S., Amante, E. R., & Amboni, R. D. D. M. C. (2013). Enhancement of bioactive compounds content and antioxidant activity of aqueous extract of mate (*Ilex*

paraguariensis A. St. Hil.) through freeze concentration technology. *Food Research International*, 53(2), 686-692.

Bobadilla, F., Rodriguez-Tirado, C., Imarai, M., Galotto, M. J., & Andersson, R. (2013). Soluble β -1,3/1,6-glucan in seaweed from the southern hemisphere and its immunomodulatory effect. *Carbohydr Polym*, 92(1), 241-248. DOI: 10.1016/j.carbpol.2012.09.071.

Bondar, S., Trubnikova, A., & Chabanova, O. (2018). Investigation of membrane process for the lactose extract from buttermilk con-centrates. *Scientific Messenger of LNU of Veterinary Medicine and Biotechnologies. Series: Food Technologies*, 20(85), 62-69. DOI: 10.15421/nvlvet8512.

Buniowska-Olejniak, M., Mykhalevych, A., Polishchuk, G., Sapiga, V., Znamirowska-Piotrowska, A., Kot, A., & Kamińska-Dwórznička, A. (2023). Study of Water Freezing in Low-Fat Milky Ice Cream with Oat β -Glucan and Its Influence on Quality Indicators. *Molecules*, 28(7), 2924. DOI: 10.3390/molecules28072924.

Buniowska-Olejniak, M., Urbański, J., Mykhalevych, A., Bieganski, P., Znamirowska-Piotrowska, A., Kačániová, M., & Banach, M. (2023). The influence of curcumin additives on the viability of probiotic bacteria, antibacterial activity against pathogenic microorganisms, and quality indicators of low-fat yogurt. *Frontiers in Nutrition*, 10, 1118752.

Burgain, J., Scher, J., Lebeer, S., Vanderleyden, J., Cailliez-Grimal, C., Corgneau, M., Francius, G., & Gaiani, C. (2014). Significance of bacterial surface molecules interactions with milk proteins to enhance microencapsulation of *Lactobacillus rhamnosus* GG. *Food Hydrocolloids*, 41, 60-70. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2014.03.029.

Burkus, Z., & Temelli, F. (2000), Stabilization of emulsions and foams using barley β -glucan. *Food Research International*, 33(1), 27-33. DOI: 10.1016/S0963-9969(00)00020-X.

Buyck, J. R., Baer, R. J., & Choi, J. (2011). Effect of storage temperature on quality of light and full-fat ice cream. *Journal of dairy science*, 94(5), 2213–2219. DOI: 10.3168/jds.2010-3897.

Buyong, N., & Fennema, O. (1998). Amount and size of ice crystals in frozen samples as influenced by hydrocolloids. *J. Dairy Sci.*, 71, 2630–2639.

Canella, M. H. M., Muñoz, I. B., Barros, E. L. S., Silva, C. C., Ploêncio, L. A. S., Daguer, H., & Prudêncio, E. S. (2019). Block freeze concentration as a technique aiming the goatmilk concentration: fate of physical, chemical, and rheological properties. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 8(5), 87-104. DOI: 10.5281/zenodo.2836603.

Carabante, K. M., & Prinyawiwatkul, W. (2018). Data analyses of a multiple-samples sensory ranking test and its duplicated test: A review. *J Sens Stud.*, 33, e12435. DOI: 10.1111/joss.12435.

Carrasco, J. L., & Jover, L. (2005). Concordance correlation coefficient applied to discrete data. *Statistics in medicine*, 24(24), 4021–4034. DOI: 10.1002/sim.2397.

Casas-Arrojo, V., Decara, J., de Los Ángeles Arrojo-Agudo, M., Pérez-Manríquez, C., Abdala-Díaz, R. T. (2021). Immunomodulatory, Antioxidant Activity and Cytotoxic Effect of Sulfated Polysaccharides from *Porphyridium cruentum*. (S.F.Gray) Nägeli. *Biomolecules*, 11(4), 488. DOI: 10.3390/biom11040488.

Chen, W., Liang, G., Li, X., He, Z., Zeng, M., Gao, D., Qin, F., Goff, H. D., & Chen, J. (2019). Effects of soy proteins and hydrolysates on fat globule coalescence and meltdown properties of ice cream. *Food Hydrocolloids*, 94, 279-286.

Cheng, J., Ma, Y., Li, X., Yan, T., & Cui, J. (2015). Effects of milk protein-polysaccharide interactions on the stability of ice cream mix model systems. *Food Hydrocolloids*, 45, 327–336. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2014.11.027.

Cherevychna, N., & Haponceva, O. (2019). Modern white quality assessment systems of wine. *Young Scientist*, 5(69), 281-286. DOI: 10.32839/2304-5809/2019-5-69-62.

Cheung, C. K., & Mehta, B. M. (2013). *Handbook of Food Chemistry*. Springer.

Cieśliński, H., Wanarska, M., Pawlak-Szukalska, A., Krajewska, E., Wicka, M., & Kur, J. (2016). Cold-active β -galactosidases: Sources, biochemical properties and their biotechnological potential. *Biotechnology of Extremophiles: Advances and Challenges*, 445-469.

Clemens, R. A., Jones, J. M., Kern, M., Lee, S. Y., Mayhew, E. J., Slavin, J. L., & Zivanovic, S. (2016). Functionality of sugars in foods and health. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 15(3), 433-470.

Coelho, M. C., Malcata, F. X., & Silva, C. C. (2022). Lactic acid bacteria in raw-milk cheeses: From starter cultures to probiotic functions. *Foods*, 11(15), 2276.

Colasuonno, P., Marcotuli, I., Cutillo, S., Simeone, R., Blanco, A., & Gadaleta, A. (2020). Effect of barley chromosomes on the β -glucan content of wheat. *Genet Resour Crop Evol*, 67, 561–567. DOI: 10.1007/s10722-019-00829-y.

Cook, K. L. K., & Hartel, R. W. (2010). Mechanisms of ice crystallization in ice cream production. *Comprehensive reviews in food science and food safety*, 9(2), 213-222.

Danesh, E., Goudarzi, M., & Jooyandeh, H. (2017). Effect of whey protein addition and transglutaminase treatment on the physical and sensory properties of reduced-fat ice cream. *Journal of Dairy Science*, 100(7), 5206-5211. DOI: 10.3168/jds.2016-12537

de Castro, R. J. S., Domingues, M. A. F., Ohara, A., Okuro, P. K., dos Santos, J. G., Brexó, R. P., & Sato, H. H. (2017). Whey protein as a key component in food systems: Physicochemical properties, production technologies and applications. *Food structure*, 14, 17-29. DOI: 10.1016/j.foostr.2017.05.004.

De Graaff, P., Govers, C., Wichers, H., & Debets, R. (2018). Consumption of β -glucans to spice up T cell treatment of tumors: A review. *Expert Opin. Biol. Ther.*, 18, 1023-1040.

de Meneses, R. B., Melo, C., Souza, C., Maciel, L., Rocha-Leão, M. H., & Conte-Junior, C. A. (2023). Influence of dairy by-products on fatty acid profile, technological and sensory characteristics of ice cream. *Concilium*, 23(6), 70-89.

de Meneses, R. B., Moura, D. C. C., de Almeida, D. T., da Silva Bispo, E., Maciel, L. F., da Rocha-Leão, M. H. M., & Conte-Junior, C. A. (2021). Impact of different dairy wheys on quality parameters of ice cream. *Rev. Bras. Ciências Agrárias*, 16, 1-10.

de Souza Fernandes, D., Leonel, M., Del Bem, M. S., Mischan, M. M., Garcia, É. L., & Dos Santos, T. P. R. (2017). Cassava derivatives in ice cream formulations:

effects on physicochemical, physical and sensory properties. *Journal of food science and technology*, 54, 1357-1367. DOI: 10.1007/s13197-017-2533-8.

Dekker, P. J. T., Koenders, D., & Bruins, M. J. (2019). Lactose-Free Dairy Products: Market Developments, Production, Nutrition and Health Benefits. *Nutrients*, 11(3), 551. DOI: 10.3390/nu11030551.

Demirbas, A. (2005). β -Glucan and mineral nutrient contents of cereals grown in Turkey. *Food Chem*, 90, 773–777. DOI: 10.1016/j.foodchem.2004.06.003.

Deng, L. (2021). Current Progress in the Utilization of Soy-Based Emulsifiers in Food Applications – A Review. *Foods*, 10(6), 1354. DOI: 10.3390/foods10061354.

Dertli, E., Toker, O. S., Durak, M. Z., Yilmaz, M. T., Tatlısu, N. B., Sagdic, O., & Cankurt, H. (2016). Development of a fermented ice-cream as influenced by in situ exopolysaccharide production: Rheological, molecular, microstructural and sensory characterization. *Carbohydrate Polymers*, 136, 427-440.

Dibirasulaev, M. A., Belozarov, G. A., Dibirasulaev, D. M., & Orlovsky, D. E. (2016). Effect of subcryoscopic storage temperature on the quantity of frozen-out water in NOR and DFD beef. *Theory and practice of meat processing*, 1(2), 18-25.

Drewett, E. M., Hartel, R. W. (2007). Ice crystallization in a scraped surface freezer. *J. Food Eng.*, 78, 1060–1066. DOI: 10.15199/65.2016.9.4.

Drgalic, I., Tratnik, L., & Božanić, R. (2005). Growth and survival of probiotic bacteria in reconstituted whey. *Dairy Science & Technology*, 85(3), 171–179. DOI: 10.1051/lait:2005009.

Du, B, Meenu, M, Liu, H., & Xu, B. (2019). A Concise Review on the Molecular Structure and Function Relationship of β -Glucan. *International journal of molecular sciences*, 20(16), 4032. DOI: 10.3390/ijms20164032.

Durmaz, Y., Kilicli, M., Toker, O. S., Konar, N., Palabiyik, I., & Tamtürk, F. (2020). Using spray-dried microalgae in ice cream formulation as a natural colorant: Effect on physicochemical and functional properties. *Algal Research*, 47, 101811.

Dutra Rosolen, M., Gennari, A., Volpato, G., & Volken de Souza, C. F. (2015). Lactose hydrolysis in milk and dairy whey using microbial β -galactosidases. *Enzyme research*, 2015(1), 806240. DOI: 10.1155/2015/806240.

El Khoury, D., Cuda, C., Luhovyy, B. L., & Anderson G. H. (2012). Beta glucan: health benefits in obesity and metabolic syndrome. *Journal of nutrition and metabolism*, e851362. DOI: 10.1155/2012/851362.

El-Hadad, S. S., Tikhomirova, N. A., Tvorogova, A. A., Shobanova, T. V., & El-Aziz, M. A. (2020). Physical properties and microstructure of ice cream supplemented with minor components of wheat germ oil. *International Journal of Dairy Science*, 15(4), 189-199.

El-Zeini, H., Moneir, E., Mostafa, A., & Yasser, E. (2016). Effect of Incorporating Whey Protein Concentrate on Chemical, Rheological and Textural Properties of Ice Cream. *Food Process Technologies*, 7(546). DOI: 10.4172/2157-7110.1000546.

Fan, R., Zhou, D., & Cao, X. (2020). Evaluation of oat β -glucan-marine collagen peptide mixed gel and its application as the fat replacer in the sausage products. *PLoS ONE*, 15(5), e0233447. DOI: 10.1371/journal.pone.0233447.

Fernández-Garía, E., McGregor, J. U., & Traylor, S. (1998). The addition of oat fiber and natural alternative sweeteners in the manufacture of plain yogurt. *Journal of dairy science*, 81(3), 655-663.

Fesel, P. H., & Zuccaro, A. (2016). β -glucan: Crucial component of the fungal cell wall and elusive MAMP in plants. *Fungal genetics and biology: FG & B*, 90, 53–60. DOI: 10.1016/j.fgb.2015.12.004.

Frenzel, M., Zerge, K., Clawin-Rädecker, I., & Lorenzen, P. C. (2015). Comparison of the galacto-oligosaccharide forming activity of different β -galactosidases. *LWT-Food Science and Technology*, 60(2), 1068-1071. DOI: 10.1016/j.lwt.2014.10.064.

Friedeck, K. G., Aragul-Yuceer, Y. K., & Drake, M. A. (2003). Soy Protein Fortification of a Low-fat Dairy-based Ice Cream. *Journal of Food Science*, 68 (9), 2651–2657. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2003.tb05784.x.

García-Pérez, F. J., Lario, Y., Fernández-López, J., Sayas E., Pérez-Alvarez, J. A., Sendra, E. (2005). Effect of orange fiber addition on yogurt color during fermentation and cold storage. *Color Research & Application*, 30(6), 457-463. DOI: 10.1002/col.20158.

- Goff, H. D. (2008). 65 Years of ice cream science. *International dairy journal*, 18(7), 754–758. DOI: 10.1016/j.idairyj.2008.03.006.
- Goff, H. D. (2013). Ice cream. In *Advanced dairy chemistry volume 2 lipids*, 441-450.
- Goff, H. D. (2018). Ice cream and frozen desserts: Product types. In *Reference Module in Food Science*, 1–6.
- Goff, H. D., Hynes, E. H., Perotti, M. C., Kelly, P. M., & Hogan, S. A. (2022). Significance of Lactose in Dairy Products. In *Advanced Dairy Chemistry: Volume 3: Lactose, Water, Salts and Minor Constituents*, 39-104.
- Goff, H.D., & Hartel, R.W. (2013). Ice cream structure. In *Ice Cream*, 313-352.
- Gray, G. M. (1970). Carbohydrate digestion and absorption. *Gastroenterology*, 58(1), 96–107.
- Grek, O., Osmak, T., Chubenko, L., & Mykhalevych, A. (2018). Technological aspects of production of frozen dessert with protein-herbal component. *Food and Environment Safety*, 17(2), 197-204.
- Gruneberg, A. K., Graham, L. A., Eves, R., Agrawal, P., Oleschuk, R. D., & Davies, P. L. (2021). Ice recrystallization inhibition activity varies with ice-binding protein type and does not correlate with thermal hysteresis. *Cryobiology*, 99, 28-39. DOI: 10.1016/j.cryobiol.2021.01.017.
- Guler-Akin, M. B., Avkan F., & Akin M. S. (2021). A novel functional reduced fat ice cream produced with pea protein isolate instead of milk powder. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(11), e15901. DOI: 10.1111/jfpp.15901.
- Hawryłkowicz, V., Lietz-Kijak, D., Kaźmierczak-Siedlecka, K., Sołek-Pastuszka, J., Stachowska, L., Folwarski, M., Parczewski, M., & Stachowska, E. (2021). Patient Nutrition and Probiotic Therapy in COVID-19: What Do We Know in 2021?. *Nutrients*, 13(10), 3385.
- He, F., Woods, C., Litowski, J. R., Roschen, L., Gadgil, H. S., Razinkov, V. I., & Kerwin, B. A. (2011). Effect of Sugar Molecules on the Viscosity of High Concentration Monoclonal Antibody Solutions. *Pharmaceutical Research*, 28, 1552-1560. DOI: 10.1007/s11095-011-0388-7.

Heidebach, T., Först, P., & Kulozik, U. (2012). Microencapsulation of probiotic cells for food applications. *Critical reviews in food science and nutrition*, 52(4), 291-311. DOI: 10.1080/10408398.2010.499801.

Henrion, M., Francey, C., Lê, K. A., & Lamothe, L. (2019). Cereal B-Glucans: The Impact of Processing and How It Affects Physiological Responses. *Nutrients*, 11(8), 1729. DOI: 10.3390/nu11081729.

Henriques, M. F., Gomes, D., Pereira, C.J., & Gil, M. H. (2013). Effects of Liquid Whey Protein Concentrate on Functional and Sensorial Properties of Set Yogurts and Fresh Cheese. *Food and Bioprocess Technology*, 6, 952-963. DOI: 10.1007/s11947-012-0778-9.

Henriques, M. H. F., Gomes, D. M. G. S., Borges, A. R., & Pereira, C. J. D. (2019). Liquid whey protein concentrates as primary raw material for acid dairy gels. *Food Science and Technology*, 40(2), 361–369. DOI: 10.1590/fst.43218.

Henriques, M., Gomes, D., & Pereira, C. (2017). Liquid whey protein concentrates produced by ultrafiltration as primary raw materials for thermal dairy gels. *Food technology and biotechnology*, 55(4), 454. DOI: 10.17113/ftb.55.04.17.5248.

Henriques, M., Gomes, D., Rodrigues, D., Pereira, C., & Gil, M. (2011). Performance of bovine and ovine liquid whey protein concentrate on functional properties of set yoghurts. *Procedia food science*, 1, 2007-2014.

Henry, R. J. (1986). Genetic and Environmental Variation in the Pentosan and β -glucan Contents of Barley, and Their Relation to Malting Quality. *Journal of Cereal Science*, 4, 269–277. DOI: 10.1016/S0733-5210(86)80029-7.

Hernández-Hernández, O., Muthaiyan, A., Moreno, F. J., Montilla, A., Sanz, M. L., & Ricke, S. C. (2012). Effect of prebiotic carbohydrates on the growth and tolerance of *Lactobacillus*. *Food microbiology*, 30(2), 355–361.

Herrera, M. L., M' Cann, J. I., Ferrero, C., Hagiwara, T., Zaritzky, N. E., & Hartel, R. W. (2007). Thermal, mechanical, and molecular relaxation properties of frozen sucrose and fructose solutions containing hydrocolloids. *Food Biophys.*, 2, 20–28.

Hiller, B., & Lorenzen, P. C. (2011). Properties of set-style skim milk yoghurt as affected by an enzymatic or Maillard reaction induced milk protein oligomerization. *LWT-Food Science and Technology*, 44(4), 811–819. DOI: 10.1016/j.lwt.2010.12.012.

Himashree, P., Sengar, A.S., Sunil, C. K. (2022). Food thickening agents: Sources, chemistry, properties and applications-A review. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 27, 100468. DOI: 10.1016/j.ijgfs.2022.100468.

Hinkova, A., Bubnik, Z., Kadlec, P. (2015). Chemical Composition of Sugar and Confectionery Products. In *Handbook of Food Chemistry*, 585-626. DOI: 10.1007/978-3-642-36605-5_30.

Hinnenkamp, C., & Ismail, B. P. (2021). A proteomics approach to characterizing limited hydrolysis of whey protein concentrate. *Food Chemistry*, 350, 129235.

Horner, T. W., Dunn, M. L., Eggett, D. L., Ogden, L. V. (2011). β -Galactosidase activity of commercial lactase samples in raw and pasteurized milk at refrigerated temperatures. *Journal of dairy science*, 94(7), 3242–3249. DOI: 10.3168/jds.2010-3742.

Hossain, M. K., Petrov, M., Hensel, O., & Diakité, M. (2021). Microstructure and Physicochemical Properties of Light Ice Cream: Effects of Extruded Microparticulated Whey Proteins and Process Design. *Foods*, 10(6), 1433. DOI: 10.3390/foods10061433.

Houf, L., Szymkowiak, A., & Shepherd, L. A. (2024). Promotion of Sustainable Products: Can Sustainability Labels Promote User Selection of Environmentally Friendly Products?. *Sustainability*, 16(13), 5390.

Hourigan, J. A. (1984). Nutritional implication of lactose. *Australian Journal of Dairy Technology*, 39, 114–120.

Ianchyk, M., Savchuk, Yu. (2021). Technology of smoothie based on walnut nut beverage with addition of banana and cocoa powder. *SWorldJournal*, 1(07-01), 93–97. DOI: 10.30888/2663-5712.2021-07-01-085.

İbanoğlu, E., & Karataş, Ş. (2001). High pressure effect on foaming behaviour of whey protein isolate. *Journal of Food Engineering*, 47(1), 31-36.

Iida, M., Desamero, M. J., Yasuda, K., Nakashima, A., Suzuki, K., Chambers, J. K., Uchida, K., Ogawa, R., Hachimura, S., Nakayama, J., Kyuwa, S., Miura, K.,

Kakuta, S., & Hirayama, K. (2021). Effects of orally administered *Euglena gracilis* and its reserve polysaccharide, paramylon, on gastric dysplasia in A4gnt knockout mice. *Sci Rep*, 11, 13640. DOI: 10.1038/s41598-021-92013-5.

Innocente, N., Biasutti, M., Venir, E., Spaziani, M., & Marchesini, G. (2009). Effect of high-pressure homogenization on droplet size distribution and rheological properties of ice cream mixes. *Journal of dairy science*, 92(5), 1864–1875. DOI: 10.3168/jds.20081797.

ISO 13299:2016. Sensory analysis — Methodology — General guidance for establishing a sensory profile.

ISO 13299:2016. Sensory analysis — Methodology — General guidance for establishing a sensory profile.

ISO 22935-2:2023 | IDF 99-2:2023. Milk and milk products — Sensory analysis. Part 2: Methods for sensory evaluation.

ISO 22935-3:2023 | IDF 99-3:2023. Milk and milk products — Sensory analysis. Part 3: Method for evaluation of compliance with product specifications for sensory properties by scoring.

ISO 6658:2017. Sensory analysis — Methodology — General guidance.

ISO 8586:2023. Sensory analysis — Selection and training of sensory assessors.

Jafarei, P., & Ebrahimi, M. T. (2011). *Lactobacillus acidophilus* cell structure and application. *African Journal of Microbiology Research*, 5(24), 4033-4042.

Jung, T.-D., Shin, G.-H., Kim, J.-M., Choi, S.-I., Lee, J.-H., Lee, S. J., Park, S. J., Woo, K. S., Oh, S. K., & Lee, O.-H. (2017). Comparative analysis of γ -oryzanol, β -glucan, total phenolic content and antioxidant activity in fermented rice bran of different varieties. *Nutrients*, 9(571). DOI: 10.3390/nu9060571.

Jurado, E., Camacho, F., Luzón, G., & Vicaria, J. M. (2004). Kinetic models of activity for β -galactosidases: influence of pH, ionic concentration and temperature. *Enzyme and Microbial Technology*, 34(1), 33–40, DOI: 10.1016/j.enzmictec.2003.07.004.

Kaleda, A., Tsanev, R., Klesment, T., Vilu, R., & Laos, K. (2018). Ice cream structure modification by ice-binding proteins. *Food Chem*, 246, 164-171. DOI: 10.1016/j.foodchem.2017.10.152.

Kamińska-Dwórznička, A. (2016). Wpływ stabilizatorów na ograniczenie rekrystalizacji w lodach typu sorbet. *Przemysł Spożywczy*, 1, 34–37.

Kamińska-Dwórznička, A., Janczewska-Dupczyk, A., Kot, A., Łaba, S., & Samborska, K. (2020). The impact of ι - and κ -carrageenan addition on freezing process and ice crystals structure of strawberry sorbet frozen by various methods. *Journal of food science*, 85(1), 50-56.

Kamińska-Dwórznička, A., Łaba, S., & Jakubczyk, E. (2022). The effects of selected stabilizers addition on physical properties and changes in crystal structure of whey ice cream, *LWT*, 154, 112841. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112841.

Kamińska-Dwórznička, A., Łaba, S., & Jakubczyk, E. (2022). The effects of selected stabilizers addition on physical properties and changes in crystal structure of whey ice cream. *LWT*, 154, 112841. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.112841.

Kamińska-Dwórznička, A., Matusiak, M., Samborska, K., Witrowa-Rajchert, D., Gondek, E., Jakubczyk, E., & Antczak, A. (2015). The influence of kappa carrageenan and its hydrolysates on the recrystallization process in sorbet. *Journal of Food Engineering*, 167, 162-165. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2015.06.014.

Kasapoglu, M. Z., Sagdic, O., Avci, E., Tekin-Cakmak, Z. H., Karasu, S., & Turker, R. S. (2023). The Potential Use of Cold-Pressed Coconut Oil By-Product as an Alternative Source in the Production of Plant-Based Drink and Plant-Based Low-Fat Ice Cream: The Rheological, Thermal, and Sensory Properties of Plant-Based Ice Cream. *Foods*, 12(3), 650. DOI: 10.3390/foods12030650.

Kaur, R., Sharma, M., Ji, D., Xu, M., & Agyei, D. (2019). Structural Features, Modification, and Functionalities of Beta-Glucan. *Fibers*, 8(1), 1. DOI: 10.3390/fib8010001.

Keim, S., & Hinrichs, J. (2004). Influence of stabilizing bonds on the texture properties of high-pressure-induced whey protein gels. *International Dairy Journal*, 14(4), 355-363. DOI: 10.1016/j.idairyj.2003.10.010.

Khanjani, M., Sharifinia, M., & Ghaedi, G. (2022). β -glucan as a promising food additive and immunostimulant in aquaculture industry. *Annals of Animal Science*, 22(3) 817-827. DOI: 10.2478/aoas-2021-0083.

Khem, S., Small, D. M., & May, B. K. (2016). The behaviour of whey protein isolate in protecting *Lactobacillus plantarum*. *Food chemistry*, 190, 717-723. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.06.020.

Klis, F. M., Mol, P., Hellingwerf, K., & Brul, S. (2002). Dynamics of cell wall structure in *Saccharomyces cerevisiae*. *FEMS Microbiology Reviews*, 26(3), 239–256. DOI: 10.1111/j.1574-6976.2002.tb00613.x.

Kocabaş, H., Ergin, F., Aktar, T., & Küçükçetin, A. (2022). Effect of lactose hydrolysis and salt content on the physicochemical, microbiological, and sensory properties of ayran. *International Dairy Journal*, 129, 105360.

Konar, N., Polat, D. G., Dalabasmaz, S., Erdogan, M., Sener, S., & Sarıkaya, E. K. (2023). Effects of various milk powders on main quality parameters of cocoa butter substitute-based chocolate. *International Dairy Journal*, 139, 105571.

Koretska, I., Polyovyk, V., Maslikov, M., & Kuzmin, O. (2020). Thermophysical characteristics of frozen semifinished products for restaurant technology. *Ukrainian Journal of Food Science*, 8(2), 231–240. DOI: 10.24263/23101008-2020-8-2-6.

Kot, A., Jakubczyk, E., Kamińska-Dwórznička, A. (2023). The Effectiveness of Combination Stabilizers and Ultrasound Homogenization in Milk Ice Cream Production. *Appl. Sci.*, 13, 7561. DOI: 10.3390/app13137561.

Kozłowicz, K., Nazarewicz, S., Różyło, R., Nastaj, M., Parafiniuk, S., Szmigielski, M., Bieńczak, A., & Kozłowicz, N. (2021). The Use of Moldavian Dragonhead Bagasse in Shaping the Thermophysical and Physicochemical Properties of Ice Cream. *Appl. Sci.*, 11, 8598. DOI: 10.3390/app11188598.

Kumar Awasthi, M., Paul, A., Kumar, V., Sar, T., Kumar, D., Sarsaiya, S., Liu, H., Zhang, Z., Binod, P., Sindhu, R., Kumar, V., & Taherzadeh, M. J. (2022). Recent trends and developments on integrated biochemical conversion process for valorization of dairy waste to value added bioproducts: A review. *Bioresource technology*, 344(Pt A), 126193. DOI: 10.1016/j.biortech.2021.126193.

Kumar, P. K., Rasco, B. A., Tang, J., & Sablani, S. S. (2020). State/phase transitions, ice recrystallization, and quality changes in frozen foods subjected to temperature fluctuations. *Food Engineering Reviews*, 12, 421-451.

Kumar, R., Chauhan, S. K., Shinde, G., Subramanian, V., & Nadasabapathi, S. (2018). Whey Proteins: A potential ingredient for food industry-A review. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 37(4), 283-290.

Kumari A., Solanki H., & Sudhakaran V. A. (2020). Novel Milk and Milk Products: Consumer Perceptions. In *Dairy Processing: Advanced Research to Applications*, 283–299. DOI: 10.1007/978-981-15-2608-4_14.

Lai, G., Addis, M., Caredda, M., Fiori, M., Dedola, A.S., Furesi, S., & Pes, M. (2024). Development and Characterization of a Functional Ice Cream from Sheep Milk Enriched with Microparticulated Whey Proteins, Inulin, Omega-3 Fatty Acids, and Bifidobacterium BB-12®. *Dairy*, 5(1), 134-152. DOI: 10.3390/dairy5010011.

Landikhovskaya, A. V., & Tvorogova, A. A. (2021). Ice cream and frozen desserts nutrient compositions: current trends of researches. *Food systems*, 4(2), 74-81.

Landikhovskaya, A. V., Tvorogova, A. A., Kazakova, N. V., & Gursky, I. A. (2020). The effect of trehalose on dispersion of ice crystals and consistency of low-fat ice cream. *Food Processing: Techniques and Technology*, 50(3), 450-459.

Leducq, D., Ndoye, F. T., & Alvarez, G. (2015). Phase change material for the thermal protection of ice cream during storage and transportation. *International Journal of Refrigeration*, 52, 133-139.

Lee, J., & Duggan, E. (2022). Whey protein microgels for stabilisation of foams. *International Dairy Journal*, 132, 105399. DOI: 10.1016/j.idairyj.2022.105399.

Legentil, L., Paris, F., Ballet, C., Trouvelot, S., Daire, X., Vetvicka, V., & Ferrières, V. (2015). Molecular Interactions of β -(1→3)-Glucans with Their Receptors. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 20(6), 9745-9766. DOI: 10.3390/molecules20069745.

Leiras, M. C., Alzamora, S. M., Chirife, J. (1990). Water Activity of Galactose Solutions. *Journal of Food Science*, 55, 1174-1174. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1990.tb01628.x.

Lim, S. Y., Swanson, B. G., Clark, S. (2008). High hydrostatic pressure modification of whey protein concentrate for improved functional properties. *Journal of dairy science*, 91(4), 1299–1307. DOI: 10.3168/jds.2007-0390.

Lindamood, J. B., Grooms, D. J., & Hansen, P. M. T. (1989). Effect of hydrolysis of lactose and sucrose on firmness of ice cream. *Food Hydrocolloids*, 3(5), 379-388. DOI: 10.1016/S0268-005X(89)80012-8.

Liu, X., Sala, G., & Scholten, E. (2022). Effect of fat aggregate size and percentage on the melting properties of ice cream. *Food Research International*, 160, 111709. DOI: 10.1016/j.foodres.2022.111709.

Liu, X., Sala, G., & Scholten, E. (2023). Structural and functional differences between ice crystal-dominated and fat network-dominated ice cream. *Food Hydrocolloids*, 138, 108466. DOI: 10.1016/j.foodhyd.2023.108466.

Liu, Y., Liu, A., Liu, L., Kan, Z., & Wang, W. (2021). The relationship between water-holding capacities of soybean–whey mixed protein and ice crystal size for ice cream. *Journal of Food Process Engineering*, 44(7), e13723. DOI: 10.1111/jfpe.13723.

Livney, Y. D., Donhowe, D. P., Hartel, R. W. (1995). Influence of temperature on crystallization of lactose in ice-cream. *International Journal of Food Science & Technologies*, 30(3), 311-320. DOI: 10.1111/j.1365-2621.1995.tb01380.x.

Lomolino, G., Zannoni, S., Zabara, A., Da Lio, M., & De Iseppi, A. (2020). Ice recrystallisation and melting in ice cream with different proteins levels and subjected to thermal fluctuation. *International Dairy Journal*, 100, 104557. DOI: 10.1016/j.idairyj.2019.104557.

Loveday, S. M. (2019). Food proteins: technological, nutritional, and sustainability attributes of traditional and emerging proteins. *Annual review of food science and technology*, 10, 311-339. DOI: 10.1146/annurev-food-032818-121128.

Luo, J., Chen, D., Mao, X., He, J., Yu, B., Cheng, L., & Zeng, D. (2019). Purified β -glucans of Different Molecular Weights Enhance Growth Performance of LPS-challenged Piglets via Improved Gut Barrier Function and Microbiota. *Animals*, 9(9), 602. DOI: 10.3390/ani9090602.

Maheshwari, G., Sowrirajan, S., & Joseph, B. (2017). Extraction and Isolation of β -Glucan from Grain Sources-A Review. *Journal of food science*. 82(7), 1535-1545. DOI: 10.1111/1750-3841.13765.

Maleki, O., Khosrowshahi Asl, A., Alizadeh Khaledabad, M., & Amiri, S. (2023). Production and characterization of synbiotic ice cream using microencapsulation and cryopreservation of *Lactobacillus rhamnosus* in whey protein/bio-cellulose/inulin composite microcapsules. *Journal of Food Measurement and Characterization*, 1-9. DOI: 10.1007/s11694-023-01922-8.

Marella, C., Muthukumarappan, K. (2013). Food freezing technology. In *Handbook of Farm, Dairy and Food Machinery Engineering*, 355–378.

Markowska, J., Tyfa, A., Drabent, A., & Stępnia, A. (2023). The Physicochemical Properties and Melting Behavior of Ice Cream Fortified with Multiminerals Prepared from Red Algae. *Foods*, 12(24), 4481.

Marnotes, N. G., Pires, A. F., Díaz, O., Cobos, A., & Pereira, C. D. (2011). Sheep's and Goat's Frozen Yoghurts Produced with Ultrafiltered Whey Concentrates. *Appl. Sci.*, 11, 6568. DOI: 10.3390/app11146568.

Marshall, R. T., Goff, H. D., & Hartel, R. W. (2003). The ice cream industry. In *Ice Cream*, 1-9.

Matak, K. E., Wilson, J. H., Duncan, S. E., Wilson, E. J., Hackney, C. R., & Sumner, S. S. (2003). The influence of lactose hydrolysis on the strength and sensory characteristics of vanilla ice cream. *Transactions of the ASAE*, 46(6), 1589.

Matijević, B., Lisak, K., Božanić, R., & Tratnik, L. (2011). Impact of enzymatic hydrolyzed lactose on fermentation and growth of probiotic bacteria in whey. *Mljekarstvo: časopis za unaprjeđenje proizvodnje i prerade mlijeka*, 61(2), 154-160.

McCain, H. R., Kaliappan, S., Drake, M. A. (2018). Invited review: Sugar reduction in dairy products. *Journal of dairy science*, 101(10), 8619–8640. DOI: 10.3168/jds.2017-14347.

McCleary, B. V., & Draga, A. (2016). Measurement of β -Glucan in Mushrooms and Mycelial Products. *Journal of AOAC INTERNATIONAL*, 99(2), 364–373. DOI: 10.5740/jaoacint.15-0289.

Mehta, B. M. (2015). Chemical composition of milk and milk products. In *Handbook of food chemistry*, 511-553.

Meneses, R. B., Silva, M. S., Monteiro, M. L. G., Rocha-Leão, M. H. M., & Conte-Junior, C. A. (2020). Effect of dairy by-products as milk replacers on quality attributes of ice cream. *Journal of dairy science*, 103(11), 10022-10035. DOI: 10.3168/jds.2020-18330.

Míšková, Z., Salek, R. N., Křenková, B., Kůrová, V., Němečková, I., Pachlová, V., & Buňka, F. (2021). The effect of κ - and ι -carrageenan concentrations on the viscoelastic and sensory properties of cream desserts during storage. *LWT*, 145, 111539.

Mitchell, H. (2008). Sweeteners and sugar alternatives in food technology. John Wiley & Sons.

Miyamoto, J., Watanabe, K., Taira, S., Kasubuchi, M., Li, X., Irie, J., Itoh, H., Kimura, I. (2018). Barley β -glucan improves metabolic condition via short-chain fatty acids produced by gut microbial fermentation in high fat diet fed mice. *PloS one*, 13(4), e0196579. DOI: 10.1371/journal.pone.0196579.

Mohammadi, R., Mortazavian, A. M., Khosrokhavar, R., & Da Cruz, A. G. (2011). Probiotic ice cream: viability of probiotic bacteria and sensory properties. *Annals of Microbiology*, 61(3), 411–424. DOI: 10.1007/s13213-010-0188-z.

Moschopoulou, E., Dernikos, D., & Zoidou, E. (2021). Ovine ice cream made with addition of whey protein concentrates of ovine-caprine origin. *International Dairy Journal*, 122, 105146. DOI: 10.1016/j.idairyj.2021.105146.

Mullan, W. M. A. (2015). Perfect ice cream or gelato. Getting the hardness or “scoopability” just right. Available at: <https://www.dairyscience.info/index.php/ice-cream/228-ice-cream-hardness.html>.

Muse, M. R., & Hartel, R. W. (2004). Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness. *Journal of dairy science*, 87(1), 1–10. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(04)73135-5.

Mykhalevych, A., Kostenko, O., Polishchuk, G., & Bandura, U. (2022). Application of milk protein concentrates in preparation of reduced fat sour cream. *Ukrainian Food Journal*, 11(3), 429–447. DOI: 10.24263/2304-974X-2022-11-3-8.

Mykhalevych, A., Polishchuk, G., Nassar, K., Osmak, T., & Buniowska-Olejniak, M. (2022). β -Glucan as a Techno-Functional Ingredient in Dairy and Milk-Based Products—A Review. *Molecules*, 27(19), 6313. DOI: 10.3390/molecules27196313.

Mykhalevych, A., Sapiga, V., Polishchuk, G., & Osmak, T. (2022). Functional and technological properties of oat beta-glucan in acidophilic-whey ice cream. *Food and Environment Safety Journal*, 21(2). DOI: 10.4316/fens.2022.012.

Nazarewicz, S., Kozłowicz, K., Kobus, Z., Gładyszewska, B., Matwijczuk, A., Ślusarczyk, L., Skrzypek, T., Sujka, M., & Kozłowicz, N. (2022). The Use of Ultrasound in Shaping the Properties of Ice Cream with Oleogel Based on Oil Extracted from Tomato Seeds. *Appl. Sci.*, 12, 9165. DOI: 10.3390/app12189165.

Niba, L. L., & Hoffman, J. M. (2003). Resistant starch and β -glucan levels in grain sorghum (*Sorghum bicolor* M.) are influenced by soaking and autoclaving. *Food Chemistry*, 81, 113-118.

Nishantha, M. D. L. C., Zhao, X., Jeewani, D. C., Bian, J., Nie X., & Weining, S. (2018). Direct comparison of β -glucan content in wild and cultivated barley. *International Journal of Food Properties*, 21(1), 2218-2228. DOI: 10.1080/10942912.2018.1500486.

Nivetha, A., & Mohanasrinivasan, V. (2017). Mini review on role of β -galactosidase in lactose intolerance. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 263(2), 022046.

Obadi, M., Sun, J., & Xu, B. (2021). Highland barley: Chemical composition, bioactive compounds, health effects, and applications. *Food research international (Ottawa, Ont.)*, 140, 110065. DOI: 10.1016/j.foodres.2020.110065.

O'Chiu, E., & Vardhanabhuti, B. (2017). Utilizing whey protein isolate and polysaccharide complexes to stabilize aerated dairy gels. *Journal of dairy science*, 100(5), 3404-3412. DOI: 10.3168/jds.2016-12053.

Okobira, T., Miyoshi, K., Uezu, K., Sakurai, K., & Shinkai, S. (2008). Molecular dynamics studies of side chain effect on the beta-1,3-D-glucan triple helix in aqueous solution. *Biomacromolecules*, 9(3), 783–788. DOI: 10.1021/bm700511d.

Osmak, T., Mleko, S., Bass, O., Mykhalevych, A., & Kuzmyk, U. (2021). Enzymatic hydrolysis of lactose in concentrates of reconstituted demineralized whey, intended for ice cream production. *Ukr. Food J.*, 10, 277–288. DOI: 10.24263/2304974X-2021-10-2-6.

Özdemir, C., Arslaner, A., Özdemir, S., & Özdemir, G. U. C. (2018). Ice-Cream Production from Lactose-Free UHT Milk. *Journal of Food Science and Engineering*, 8, 210–214. DOI: 10.17265/2159-5828/2018.05.003.

Özdemir, C., Dağdemir, E. U., Özdemir, S., & Sağdıç O. (2008). The Effects of Using Alternative Sweeteners to Sucrose on Ice Cream Quality. *Journal of Food Quality*, 31, 415-428. DOI: 10.1111/J.1745-4557.2008.00209.X.

Paongphan, P., Ditudompo, S., Vitheejongjaroen, P., Pachekreapol, U., & Taweechotipatr, M. (2023). Selected lactobacilli isolated from Thai foods for production of fermented dairy products with cholesterol lowering potential. *NFS Journal*, 33, 100151.

Park, H.-G., Shim, Y. Y., Choi, S.-O., & Park, W.-M. (2009). New method development for nanoparticle extraction of water-soluble β -(1→3)-D-glucan from edible mushrooms, *Sparassis crispa* and *Phellinus linteus*. *J. Agric. Food Chem*, 57, 2147-2154.

Patel, M. R., Baer, R. J., & Acharya, M. R. (2006). Increasing the protein content of ice cream. *Journal of Dairy Science*, 89(5), 1400-1406.

Patil, A. G., & Banerjee, S. (2017). Variants of ice creams and their health effects. *MOJ Food Process. Technol*, 4, 58–64. DOI: 10.15406/mojfpt.2017.04.00088.

Pereira, C., Henriques, M., Gomes, D., Gomez-Zavaglia, A., & de Antoni, G. (2015). Novel functional whey-based drinks with great potential in the dairy industry. *Food technology and biotechnology*, 53(3), 307-314.

Pertsevov, F. Ladyka, V. Smetanska, I. Bienias, D. Ianchyk, M. Grynchenko, N. Omelchenko, & S. Hrynchenko, O. (2022). Technology of thermostable and frozen fillings using dairy raw materials and sesame seeds concentrate. Kharkiv: Dissa+.

Phuwadolpaisarn, P. (2021), Comparison of β -Glucan Content in Milled Rice, Rice Husk and Rice Bran from Rice Cultivars Grown in Different Locations of Thailand and the Relationship between β -Glucan and Amylose Contents. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 26(21), 6368. DOI: 10.3390/molecules26216368.

Pimentel, T. C., de Oliveira, L. I. G., de Souza, R. C., & Magnani, M. (2022). Probiotic ice cream: A literature overview of the technological and sensory aspects and health properties. *International journal of dairy technology*, 75(1), 59-76. DOI: 10.1111/1471-0307.12821.

Polischuk, G., Bass, O., Osmak, T., & Breus, N. (2019). Cryoprotective ability of starch syrup in the composition of aromatic and fruit-berry ice cream. *Ukrainian Food Journal*, 8(2), 239–248.

Polischuk, G., Bass, O., Osmak, T., & Breus, N. (2019). Cryoprotective ability of starch syrup in the composition of aromatic and fruit-berry ice cream. *Ukrainian Food Journal*, 8(2), 239-248. DOI: 10.24263/2304-974X-2019-8-2-4.

Polischuk, G., Sharahmatova, T., Breus, N., Bass, O., & Shevchenko, I. (2019). Studies of water freezing features in ice cream with starch syrup. *Food Sci. Technol.*, 13, 71–77.

Polishchuk, G., Sharakhmatova, T., Shevchenko, I., Mandiuk, O., Mykhalevych, A., & Pukhlyak, A. (2023). Scientific substantiation of cream heating duration in the technology of sour cream, enriched with protein. *Food science and technology*, 17(3), 75-83. DOI: 10.15673/fst.v17i3.2657.

Polishchuk, G., Breus, N., Shevchenko, I., Gnitsevych, V., Yudina, T., Nozhechkina-Yeroshenko, G., & Semko, T. (2020). Determining the effect of casein on the quality indicators of ice cream with different fat content. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 4(11(106)), 24–30. DOI: 10.15587/1729-4061.2020.208954.

Polishchuk, G., Kochubei-Lytvynenko, O., Osmak, T., Kuzmyk, U., Bass, O., Mykhalevych, A., & Sapiga, V. (2021). Scientific explanation of composition of acidophilic whey ice cream, enriched with protein. *Food and Environment Safety Journal*, 20(1), 13-20. DOI: 10.4316/fens.2021.002.

Polo, A., Tlais, A. Z. A., Filannino, P., Da Ros, A., Arora, K., Cantatore, V., Vincentini, O., Nicolodi, A., Nicolodi, R., Gobbetti, M., & Di Cagno, R. (2023). Novel Fermented Ice Cream Formulations with Improved Antiradical and Anti-Inflammatory Features. *Fermentation*, 9(2), 117. DOI: 10.3390/fermentation9020117.

Pomeranz, Y., & Meloan, C. E. (1994). Refractometry and Polarimetry. In *Food Analysis*, 430-448. DOI: 10.1007/978-1-4615-6998-5_27.

Portnoy, M., & Barbano, D. M. (2021). Lactose: Use, measurement, and expression of results. *Journal of dairy science*, 104(7), 8314-8325.

Puangmanee, S., Hayakawa, S., Sun, Y., & Ogawa, M. (2008). Application of whey protein isolate glycated with rare sugars to ice cream. *Food science and technology research*, 14(5), 457-457. DOI: 10.3136/fstr.14.457.

Qayum, A., Rashid, A., Liang, Q., Wu, Y., Cheng, Yu., Kang, L., Liu, Y., Zhou, C., Hussain, M., Ren, X., Ashokkumar, M., & Ma, H. (2023). Ultrasonic and homogenization: An overview of the preparation of an edible protein–polysaccharide complex emulsion. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 22, 4242–4281. DOI: 10.1111/1541-4337.13221.

Queiroz, E. S., Rezende, A. L. L., Perrone, Í. T., Francisquini, J. D. A., de Carvalho, A. F., Alves, N. M. G., de Oliveira, L. F. C. & Stephani, R. (2021). Spray drying and characterization of lactose-free goat milk. *LWT*, 147, 111516. DOI: 10.1016/j.lwt.2021.111516.

Ragae S. M., Campbell G. L., Scoles G. J., McLeod J. G., & Tyler R. T. (2001). Studies on rye (*Secale cereale* L.) lines exhibiting a range of extract viscosities. 1. Composition, molecular weight distribution of water extracts, and biochemical characteristics of purified water-extractable arabinoxylan. *Journal of agricultural and food chemistry*, 49(5), 2437-2445. DOI: 10.1021/jf001227g.

Rakha, A., Aman, P., & Andersson, R. (2011). How does the preparation of rye porridge affect molecular weight distribution of extractable dietary fibers? *International journal of molecular sciences*, 12(5), 3381–3393. DOI: 10.3390/ijms12053381.

Ranadheera, C. S., Evans, C. A., Adams, M. C., & Baines, S. K. (2013). Production of probiotic ice cream from goat's milk and effect of packaging materials on product quality. *Small Ruminant Research*, 112(1-3), 174–180. DOI: 10.1016/j.smallrumres.2012.12.020.

Regand, A., & Goff, H. D. (2003). Structure and ice recrystallization in frozen stabilized ice cream model systems. *Food hydrocolloids*, 17(1), 95-102. DOI: 10.1016/S0268-005X(02)00042-5.

Rezaei, R., Khomeiri, M., Kashaninejad, M., Mazaheri-Tehrani, M., Aalami, M. (2019). Potential of β -d-glucan to enhance physicochemical quality of frozen soy yogurt at different aging conditions. *Iranian Food Science and Technology Research Journal*, 15(3), 1-12.

Rojo-Cebreros, A. H., Ibarra-Castro, L., Martínez-Brown, J. M., Velasco-Blanco, G., Martínez-Téllez, M. A., Medina-Jasso, M. A., Nieves-Soto, M., & Quintana-Zavala D. (2017). Potential of *Nannochloropsis* in beta glucan production. In *Nannochloropsis: Biology, Biotechnological Potential and Challenges*, 181-225.

Romanchuk, I., Minorova, A., & Krushelnytska, N. (2018). Physical-chemical composition and technological properties of demineralized milk whey received by membrane methods. *Agricultural Science and Practice*, 5(3), 33-39. DOI: 10.15407/agrisp5.03.033.

Romulo, A., & Meindrawan, B. (2021). Effect of Dairy and Non-Dairy Ingredients on the Physical Characteristic of Ice Cream. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 794(1), 012145.

Rosolen, M., Gennari, A., Volpato, G., Fernanda, C., de Souza, V. (2015). Lactose Hydrolysis in Milk and Dairy Whey Using Microbial β –Galactosidases. *Enzyme Research*, 1(2). DOI:10.1155/2015/806240.

Roy, S., Hussain, S. A., Prasad, W. G., & Khetra, Y. (2022). Quality attributes of high protein ice cream prepared by incorporation of whey protein isolate. *Applied Food Research*, 2(1), 100029. DOI: 10.1016/j.afres.2021.100029.

Saentaweasuk, S., & Chaikham, P. (2023). Effect of whey protein isolate incorporated with various carbohydratebased fat replacers on physicochemical and sensorial properties of low-fat chocolate ice cream. *Food Research*, 7(1), 167-176. DOI: 10.26656/fr.2017.7(1).705.

Saha, S. (2020). IMF: To enhance the shelf-Life of food. *Technology*, 6(10), 103-108. DOI: 10.1016/j.afres.2021.100029.

Salem, M. M., Fathi, F. A., & Awad, R. (2005). Production of probiotic ice cream. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 55(3), 267-271.

Salem, S. A., Hamad, E. M., & Ashoush, I. S. (2016). Effect of partial fat replacement by whey protein, oat, wheat germ and modified starch on sensory properties, viscosity and antioxidant activity of reduced fat ice cream. *Food and Nutrition Sciences*, 7(6), 397-404. DOI: 10.4236/fns.2016.76041.

Salinas-Hernández, R. M., González-Aguilar, G. A. & Tiznado-Hernández, M. E. (2015). Utilization of physicochemical variables developed from changes in sensory attributes and consumer acceptability to predict the shelf life of fresh-cut mango fruit. *J Food Sci Technol.*, 52, 63-77. DOI: 10.1007/s13197-013-0992-0.

Sangwan, V., Tomar, S. K., Ali, B., Singh, R. R., & Singh, A. K. (2015). Production of β -galactosidase from streptococcus thermophilus for galactooligosaccharides synthesis. *Journal of food science and technology*, 52(7), 4206–4215. DOI: 10.1007/s13197-014-1486-4.

Sapiga, V., Polischuk, G., Buniowska, M., Shevchenko, I., Osmak, T. (2021). Enzymatic destruction of protopectin in vegetable raw materials to increase its structuring ability in ice cream. *Ukrainian Food Journal*, 10(4), 691-702. DOI: 10.24263/2304-974X-2021-10-2-9.

Sapiga, V., Polischuk, G., Osmak, T., Mykhalevych, A., & Maslikov, M. (2019). Scientific explanation of the composition and technological modes of manufacture of dairy ice cream with vegetable puree. *Ukrainian Journal of Food Science*, 7(1), 83-91.

Savio, J., Preci, D., Castelle, M., Manzolli, A., Fernandes, I. A., Junges, A., Colet, R., Carrão-Panizzi, M., Abirached, C., Steffens, J., & Valduga, E. (2018). Development and Structural Behaviour of Soybean Gelato. *Food technology and biotechnology*, 56(4), 516–523. DOI: 10.17113/ftb.56.04.18.5710.

Schmidt, C., Mende, S., Jaros, D., & Rohm, H. (2016). Fermented milk products: effects of lactose hydrolysis and fermentation conditions on the rheological properties. *Dairy Science & Technology*, 96(2), 199-211. DOI: 10.1007/s13594-015-0259-9.

Schulze, C., Wetzel, M., Reinhardt, J., Schmidt, M., Felten, L., & Mundt, S. (2016). Screening of microalgae for primary metabolites including β -glucans and the influence of nitrate starvation and irradiance on β -glucan production. *Journal of Applied Phycology*, 28, 2719-2725.

Sedzro, D. M., Bellah, S. M. F., Akbar, H., & Billah, S. M. S. (2018). Structure, function, application and modification strategy of β -Galactosidase. *J Multidis Res Rev*, 1, 10-16.

Sekar, A., Kim, M., Jeong, H. C., & Kim, K. (2018). Strain Selection and Optimization of Mixed Culture Conditions for *Lactobacillus pentosus* K1-23 with Antibacterial Activity and *Aureobasidium pullulans* NRRL 58012 Producing Immune-Enhancing β -Glucan. *Journal of microbiology and biotechnology*, 28(5), 697-706. DOI: 10.4014/jmb.1801.01052.

Şengül, M., & Ufuk, S. (2022). Therapeutic and functional properties of beta-glucan, and its effects on health. *Eurasian Journal of Food Science and Technology*, 6(1), 29-41.

Shabanova, I. A., Kh, T. L., Tsugkieva, V. B., Doev, D. N., & Datieva, B. A. (2022). The effect of beet fiber on the evaluation of the quality of gingerbread. *International Research Journal*, 2116, 180-186.

Sharma P., Trivedi N., & Gat Y., (2017). Development of functional fermented whey–oat-based product using probiotic bacteria. *Biotech*, 7(4). DOI: 10.1007/s13205-017-0906-3.

Sharqawy, M. H., & Goff, H. D. (2022). Effect of temperature variation on ice cream recrystallization during freezer defrost cycles. *Journal of Food Engineering*, 335, 111188.

Shi, X., Wu, D., Xu, Y., & Yu, X. (2022). Engineering the optimum pH of β -galactosidase from *Aspergillus oryzae* for efficient hydrolysis of lactose. *Journal of Dairy Science*, 105(6), 4772-4782.

Shibani F., Asadollahi S., & Eshaghi M. (2021). The effect of beta-glucan as a fat substitute on the sensory and physico-chemical properties of low-fat ice cream. *Journal of Food Safety and Processing*, 1(1), 71-84.

Shwe, T., Pratchayasakul, W., Chattipakorn, N., & Chattipakorn, S. C. (2018). Role of D-galactose-induced brain aging and its potential used for therapeutic interventions. *Experimental gerontology*, 101, 13–36. DOI: 10.1016/j.exger.2017.10.029

Şimşek, B., & Gün, İ. (2021). Some physicochemical, rheological and sensory properties of flavored ice cream. *Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 10(2), 598-605. DOI: 10.28948/ngumuh.911167.

Singh, P., & Saini, P. (2017). Food and health potentials of exopolysaccharides derived from Lactobacilli. *Microbiol. Res. J. Int*, 22, 1-14.

Singh, R. V., & Sambyal, K. (2023). β -Galactosidase as an industrial enzyme: Production and potential. *Chemical Papers*, 77(1), 11-31.

Sitnikova, P. B., & Tvorogova, A. A. (2019). Physical changes in the structure of ice cream and frozen fruit desserts during storage. *Food systems*, 2(2), 31-35.

Skryplonek K., Gomes D., Viegas J., Pereira C., & Henriques M. (2017). Lactose-free frozen yogurt: production and characteristics. *Acta Sci.Pol. Technol. Aliment.* 16 (2), 171-179. DOI: 10.17306/J.AFS.2017.0478.

Sleator R. D., & Hill C. (2002). Bacterial osmoadaptation: the role of osmolytes in bacterial stress and virulence. *FEMS microbiology reviews*, 26(1), 49–71. DOI: 10.1111/j.1574-6976.2002.tb00598.x.

Sofjan R. P., & Hartel R. W. (2004). Effects of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. *International Dairy Journal*, 14, 255–262, DOI: 10.1016/j.idairyj.2003.08.005.

Song, X., Perez-Cueto, F., & Bredie, W. (2018). Sensory-Driven Development of Protein-Enriched Rye Bread and Cream Cheese for the Nutritional Demands of Older Adults. *Nutrients*, 10(8), 1006. DOI: 10.3390/nu10081006.

Soukoulis C., Fisk I. D., & Bohn T. (2014). Ice cream as a vehicle for incorporating health-promoting ingredients: Conceptualization and overview of quality and storage stability. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(4), 627–655.

Stehlik-Tomas, V., Grba, S., Stanzer, D., & Gulan-Zetić, V. (2001). Hydrolysis of lactose with-D-galactosidase. *Mljekarstvo: časopis za unaprijeđenje proizvodnje i prerade mlijeka*, 51(3), 187-196.

Sulejmani, E., & Demiri, M. (2020). The effect of stevia, emulsifier and milk powder on melting rate, hardness and overrun of ice cream formulations during storage. *Dairy/Mljekarstvo*, 70(2), 120-130.

Sun, X., Guo, R., Zhan, T., Kou, Y., Ma, X., Song, H., Zhou, W., Song, L., Zhang, H., Xie, F., Yuan, C., Song, Z., & Wu, Y. (2023). Retarding ice recrystallization by tamarind seed polysaccharide: Investigation in ice cream mixes and insights from molecular dynamics simulation. *Food Hydrocolloids*, 149, 109579.

Sun, X., Wu, Y., Song, Z., & Chen, X. (2022). A review of natural polysaccharides for food cryoprotection: Ice crystals inhibition and cryo-stabilization. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*, 27, 100291.

Sun, Y., Wang, H., Guo, G., Pu, Y., & Yan, B. (2014). The isolation and antioxidant activity of polysaccharides from the marine microalgae *Isochrysis galbana*. *Carbohydrate polymers*, 113, 22-31. DOI: 10.1016/j.carbpol.2014.06.058.

Suzuki, T., Kusano, K., Kondo, N., Nishikawa, K., Kuge, T., & Ohno, N. (2021), Biological Activity of High-Purity β -1,3-1,6-Glucan Derived from the Black Yeast *Aureobasidium pullulans*: A Literature Review. *Nutrients*, 13(1), 242. DOI: 10.3390/nu13010242.

Syed, Q. A., Anwar, S., Shukat, R., Zahoor, T. (2018). Effects of different ingredients on texture of ice cream. *Journal of Nutritional Health & Food Engineering*, 8(6), 422-435. DOI: 10.15406/jnhfe.2018.08.00305.

Synytsya, A., & Novak, M. (2014). Structural analysis of glucans. *Ann. Transl. Med.*, 2(2), 17.

Tavares, G. M., Croguennec, T., Carvalho, A. F., & Bouhallab, S. (2014). Milk proteins as encapsulation devices and delivery vehicles: Applications and trends. *Trends in Food Science & Technology*, 37(1), 5-20. DOI: 10.1016/j.tifs.2014.02.008 3.

Tay, R. R. E., Agatha, T., Somang, G., Yuliarti, O., & Tan, E. L. L. (2022). Structuring wheat flour-based crackers using whey protein isolate. *International Dairy Journal*, 128, 105314. DOI: 10.1016/j.idairyj.2021.105314.

Trejo-Flores, P. G., Santiago-Rodríguez, L. A., Domínguez-Espinosa, M. E., Cruz-Salomón, A., Velázquez-Jiménez, P. E., Hernández-Méndez, J. M. E., Morales-Ovando, M. A., Cruz-Salomón, K. d. C., Hernández-Cruz, M. d. C., Vázquez-Villegas, P. T., Cruz-Rodríguez, R. I., Serrano-Ramírez, R. d. P., Sánchez-Roque, Y., & Vilchis-Bravo, H. (2023). Sustainable Ice Cream Base: Harnessing Mango Seed Kernel (*Mangifera indica* L. var. Tommy Atkins) Waste and Cheese Whey. *Sustainability*, 15(19), 14583. DOI: 10.3390/su151914583.

Trumbo, P. R., Appleton, K. M., de Graaf, K., Hayes, J. E., Baer, D. J., Beauchamp, G. K., Dwyer, J. T., Fernstrom, J. D., Klurfeld, D. M., Mattes, R. D., & Wise, P. M. (2021). Perspective: Measuring Sweetness in Foods, Beverages, and Diets: Toward Understanding the Role of Sweetness in Health. *Advances in nutrition (Bethesda, Md.)*, 12(2), 343-354. DOI: 10.1093/advances/nmaa151.

Tvorogova, A. A., Gurskiy, I. A., Shobanova, T. V., & Smykov, I. T. (2023). Effect of Protein Concentrates and Isolates on the Rheological, Structural, Thermal and Sensory Properties of Ice Cream. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 11(1), 294-306. DOI: 10.12944/CRNFSJ.11.1.22.

Tvorogova, A. A., Landikhovskaya, A. V., Kazakova, N. V., Zakirova, R. R., & Pivtsaeva, M. M. (2021). Scientific and practical aspects of trehalose contain in ice

cream without sucrose. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 640(5), 052017.

Ubiparip, Z., De Doncker, M., Beerens, K., Franceus, J., Desmet, T. (2021). β -Glucan phosphorylases in carbohydrate synthesis. *Appl Microbiol Biotechnol*, 105, 4073-4087. DOI: 10.1007/s00253-021-11320-z.

Van Vlierberghe, S., Graulus, G. J., Keshari Samal, S., Van Nieuwenhove, I., & Dubruel, P. (2014). Porous hydrogel biomedical foam scaffolds for tissue repair. In *Biomedical Foams for Tissue Engineering Applications*, 335-390 DOI: 10.1533/9780857097033.2.335.

Vasudha, M., Prashantkumar, C. S., Bellurkar, M., Kaveeshwar, V., & Gayathri, D. (2023). Probiotic potential of β -galactosidase-producing lactic acid bacteria from fermented milk and their molecular characterization. *Biomedical Reports*, 18(3), 1-12.

Wang, D., & Sakakibara, M. (1997). Lactose hydrolysis and β -galactosidase activity in sonicated fermentation with *Lactobacillus* strains. *Ultrasonics Sonochemistry*, 4(3), 25–261. DOI: 10.1016/S1350-4177(96)00042-9.

Warren, M. M., & Hartel, R. W. (2018). Effects of emulsifier, overrun and dasher speed on ice cream microstructure and melting properties. *Journal of food science*, 83(3), 639-647. DOI: 10.1111/1750-3841.13983.

Weese, S. J., Gosnell, K., West, P., & Gropper, S. S. (2003). Galactose content of baby food meats: Considerations for infants with galactosemia. *Journal of the American Dietetic Association*, 103(3), 373-375.

Whelan A. P., Vega C., Kerry J. P., & Goff H.D. (2008). Physicochemical and sensory optimisation of a low glycemic index ice cream formulation. *International Journal of Food Science & Technology*, 43, 1520-1527. DOI: 10.1111/j.1365-2621.2007.01502.x.

Wong, J. F., Hong, H. J., Foo, S. C., Yap, M. K. K., & Tan, J. W. (2022). A review on current and future advancements for commercialized microalgae species. *Food Sci. Hum. Wellness*, 11, 1156–1170.

Wu, B., Freire, D. O., & Hartel, R. W. (2019). The effect of overrun, fat destabilization, and ice cream mix viscosity on entire meltdown behavior. *Journal of food science*, 84(9), 2562-2571. DOI: 10.1111/1750-3841.14743.

Xinyi, E., Pei, Z. J., & Schmidt, K. A. (2010). Ice Cream: Foam Formation and Stabilization—A Review. *Food Reviews International*, 26(2), 122-137. DOI: 10.1080/87559120903564472.

Xu, H., Gao, Z., Huang, M., Fan, Q., Cui, L., Xie, P., Liu, L., Guan, X., Jin, J., Jin, Q., & Wang, X. (2024). Static stability of partially crystalline emulsions stabilized by milk proteins: Effects of κ -carrageenan, λ -carrageenan, ι -carrageenan, and their blends. *Food Hydrocolloids*, 147, 109387.

Yan, L., Yu, D., Liu, R., Jia, Y., Zhang, M., Wu, T., & Sui, W. (2021). Microstructure and meltdown properties of low-fat ice cream: Effects of microparticulated soy protein hydrolysate/xanthan gum (MSPH/XG) ratio and freezing time. *Journal of Food Engineering*, 291, 110291.

Yang, S., Mao, X. Y., Li, F. F., Zhang, D., Leng, X. J., Ren, F. Z., & Teng, G. X. (2012). The improving effect of spray-drying encapsulation process on the bitter taste and stability of whey protein hydrolysate. *European Food Research and Technology*, 235, 91-97.

Young, S. (2007). Whey products in ice cream and frozen dairy desserts. Applications Monograph.

Zandona, E., Blažić, M., & Režek Jambrak, A. (2021). Whey utilization: Sustainable uses and environmental approach. *Food Technology and Biotechnology*, 59(2), 147-161.

Zhang, A. Q., Xu, D., Liu, B. H., Shi, B. M., & Zhang, Y. H. (2023). Low-fat ice cream model system: impact of incorporation of alcalase hydrolyzed zein. *Food & function*, 14(9), 4430–4439. DOI: 10.1039/d3fo00274h.

Zhang, H., Chen, J., Li, J., Wei, C., Ye, X., Shi, J., & Chen, S. (2018). Pectin from citrus canning wastewater as potential fat replacer in ice cream. *Molecules*, 23(4), 925. DOI: 10.3390/molecules23040925.

Zhao X., Fan X., Shao X., Cheng M., Wang C., Jiang H., Zhang X., Yuan C. (2022). Modifying the physicochemical properties, solubility and foaming capacity of

milk proteins by ultrasound-assisted alkaline pH-shifting treatment. *Ultrasonics Sonochemistry*, 88, 106089. DOI: 10.1016/j.ultsonch.2022.106089.

Zou, Y., Liao, D., Huang, H., Li, T., Chi, H. (2015). A systematic review and meta-analysis of beta-glucan consumption on glycemic control in hypercholesterolemic individuals. *Int. J. Food Sci. Nutr.*, 66, 355–362.

ДОДАТКИ

Додаток А. Нормативна документація

УКНД 67.100.01

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
Національного університету
харчових технологій,
доцент, кандидат технічних наук
Сергій ТОКАРЧУК
"22" листопада 2024 р.

МОРОЗИВО АЦИДОФІЛЬНЕ

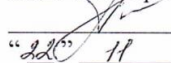
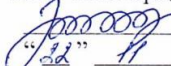

Технічні умови

ТУ У 10.5-02070938-334:2024

Вперше

Дата надання чинності з "22" листопада 2024 р.

Термін дії до "22" листопада 2029 р.

РОЗРОБЛЕНОЗавідувач кафедри технології молока і
молочних продуктів НУХТ, д.т.н., проф. Галина ПОЛЩУК
"22" листопада 2024 р.Доцент кафедри технології молока і
молочних продуктів НУХТ, к.т.н., доцент Ульяна БАНДУРА
"22" листопада 2024 р.Аспірант кафедри технології молока і
молочних продуктів НУХТ Артур МИХАЛЕВИЧ
"22" листопада 2024 р.

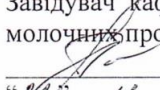
УКНД 67.100.01

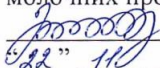


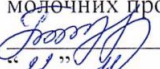
**ТЕХНОЛОГІЧНА ІНСТРУКЦІЯ
З ВИРОБНИЦТВА МОРОЗИВА АЦИДОФІЛЬНОГО
до ТУ У 10.5-02070938-334:2024
Вперше**

Дата надання чинності з "22" листопада 2024 р.
Термін дії до "22" листопада 2029 р.

РОЗРОБЛЕНО

Завідувач кафедри технології молока і
молочних продуктів НУХТ, д. т. н., проф.
 Галина ПОЛІЩУК
"22" 11 2024 р.

Доцент кафедри технології молока і
молочних продуктів НУХТ, к.т.н., доцент
 Ульяна БАНДУРА
"22" 11 2024 р.

Аспірант кафедри технології молока і
молочних продуктів НУХТ
 Артур МИХАЛЕВИЧ
"22" 11 2024 р.

Київ – 2024

УКНД 67.100.01

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи
Національного університету
харчових технологій,
доцент, кандидат технічних наук
Сергій ТОКАРЧУК

“ 22 ” листопада 2024 р.

**РІДКІ ГІДРОЛІЗОВАНІ КОНЦЕНТРАТИ ДЕМІНЕРАЛІЗОВАНОЇ
СИРОВАТКИ**

Технічні умови

ТУ У 10.5-02070938-333:2024**Вперше**

Дата надання чинності з “22” листопада 2024 р.

Термін дії до “22” листопада 2029 р.

РОЗРОБЛЕНО

Завідувач кафедри технології молока і
молочних продуктів НУХТ, д.т.н., проф.

Галина ПОЛІЩУК

“ 22 ” листопада 2024 р.

Доцент кафедри технології молока і
молочних продуктів НУХТ, к.т.н., доцент

Ульяна БАНДУРА

“ 22 ” листопада 2024 р.

Аспірант кафедри технології молока і
молочних продуктів НУХТ

Артур МИХАЛЕВИЧ

“ 22 ” листопада 2024 р.

Київ – 2024

УКНД 67.100.01

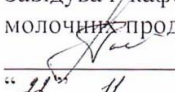
ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор з наукової роботи
Національного університету
харчових технологій,
доцент, кандидат технічних наук

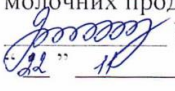
Сергій ТОКАРЧУК
2024 р.

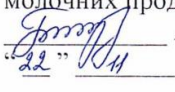
**ТЕХНОЛОГІЧНА ІНСТРУКЦІЯ
З ВИРОБНИЦТВА РІДКИХ ГІДРОЛІЗОВАНИХ КОНЦЕНТРАТІВ
ДЕМІНЕРАЛІЗОВАНОЇ СИРОВАТКИ
до ТУ У 10.5-02070938-333:2024
Вперше**

Дата надання чинності з “22” листопада 2024 р.
Термін дії до “22” листопада 2029 р.

РОЗРОБЛЕНО

Завідувач кафедри технології молока і
молочних продуктів НУХТ, д. т. н., проф.

Галина ПОЛІЩУК
“ 22 ” 11 2024 р.

Доцент кафедри технології молока і
молочних продуктів НУХТ, к.т.н., доцент

Ульяна БАНДУРА
“ 22 ” 11 2024 р.

Аспірант кафедри технології молока і
молочних продуктів НУХТ

Артур МИХАЛЕВИЧ
“ 22 ” 11 2024 р.

Київ – 2024

Додаток Б. Патенти на корисну модель та винахід





Додаток В. Акти впровадження та виробничої апробації наукової розробки,
протоколи органолептичної оцінки

Міністерство освіти і науки України
Національний університет харчових технологій



Сергій ТОКАРЧУК

12 20 24 р.

АКТ

впровадження результатів науково-дослідних, дослідно-конструкторських і
дисертаційних робіт у навчальний процес закладу вищої освіти

Замовник Національний університет харчових технологій в особі проректора з наукової роботи Токарчука Сергія Володимировича, який діє на підставі наказу №87 від 20.10.22р.

(П.І. керівника)

Дійсним актом підтверджується, що результати: дисертаційної роботи на тему «Розроблення технології морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного», що виконувались згідно плану науково-дослідної роботи кафедри технології молока і молочних продуктів «Удосконалення існуючих та створення нових ресурсоефективних технологій молочних продуктів підвищеної харчової цінності» (№ державної реєстрації 0120U103103)

(найменування виду роботи, найменування теми, № держ. реєстрації)

виконаної на кафедрі технології молока і молочних продуктів

(найменування кафедри)

виконуваної з 10.2021 р. по 10.2024 р.

(термін виконання)

впроваджені кафедрою технології молока і молочних продуктів

(найменування структурного підрозділу, де здійснювалось впровадження)

1. Вид впроваджених результатів: технологія морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного

(технологія, обладнання, методики, тощо)

2. Форма впровадження: лекційні та лабораторні заняття, кваліфікаційні роботи

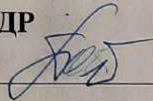
3. Новизна результатів науково-дослідних робіт: принципово нове. За результатами експериментальних досліджень розроблено нову технологію морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного, що передбачає гідроліз лактози ($\geq 90\%$) у рідких концентратах сироватки як основисумішей морозива, а також використання ізоляту сироваткових білків (3%) та β -глюканів вівса та дріжджів (0,25%), що дає змогу повністю відмовитися від застосування стабілізаційної системи, підвищити харчову цінність та розширити асортимент продуктів зі зниженим вмістом лактози.

(піонерське, принципово нове, якісно нове, модифікація старих розробок)

4. Перелік курсів і дисциплін, у рамках яких викладені результати НДР: «Авторське морозиво та заморожені десерти. Промислові і крафтові технології», «Технології незбираномолочних продуктів та морозива», «Науково-дослідницький практикум», кваліфікаційні роботи на здобуття освітніх ступенів «бакалавр» та «магістр».

5. Соціальний і науково-технічний ефект впровадження технології морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного дозволяє розширити асортиментний ряд продуктів для людей, що мають інтолерантність до лактози і потребу у високоцінних білках, а також забезпечити комплексну переробку вторинної молочної сировини.

Керівник НДР

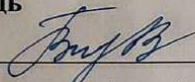


(підпис)

(Галина ПОЛЩУК)

«02» 12 2024 р.

Виконавець



(підпис)

(Артур МИХАЛЕВИЧ)

«02» 12 20 24 р.



« » 20 р. № _____
 На № _____ від « » 20 _____ р

Україна, 79025, м. Львів, вул. Повітряна, 2, тел./факс: (032) 267-34-66, 245-87-69
 79025, UKRAINE, Lviv, Povitriana str., 2, tel./fax: (032) 267-34-66, 245-87-69

ІВАН UA463253650000026009011089010 в АТ "КРЕДОБАНК"
 (Відділення вул. Ряшівська, 9 АТ "КРЕДОБАНК" у м. Львів)
 ІВАН UA173005280000026002455078740 в АТ "ОТП БАНК"
 (м. Київ, 01033, вул. Жиллянська, 43)

ЄДРПОУ 01553706, ІПН 015537013024, Витяг з РП ПДВ № 1728064500058

ЗАТВЕРДЖУЮ

Директор з якості

ПрАТ «Львівський холодокомбінат»

К.т.н. Андрій ЗГУРСЬКИЙ

2024 р.



АКТ

виробництва дослідно-промислової партії морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного згідно з проектом ТУ У 10.5-02070938-334:2024 «Морозиво ацидофільне»

Ми, що нижче підписалися, представники Підприємства (ПрАТ «Львівський холодокомбінат»): старший технолог Олена Михалина (ПрАТ «Львівський холодокомбінат») та представники Розробника (Національний університет харчових технологій): зав. кафедри технології молока і молочних продуктів НУХТ, проф. Поліщук Г.Є. та аспірант цієї кафедри Михалевич А.П. склали цей акт на підставі того, що 12 грудня 2024 р. в умовах Підприємства було проведено виробничу апробацію технології морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного, в результаті якої виготовлено 1 т дослідно-промислової партії, відповідно до проекту ТУ У 10.5-02070938-334:2024 «Морозиво ацидофільне».

Технологічний процес виробництва морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного здійснювався за наступною послідовністю операцій: приймання сировини, зберігання сировини, приготування рідкого гідролізованого концентрату демінералізованої сироватки (відновлення сухої сироватки, фільтрування, пастеризація, охолодження, ферментація, інактивація ферменту, охолодження та зберігання), послідовне змішування сухих компонентів, рідкого концентрату сироватки, суміші сухих та рідких компонентів, фільтрування, пастеризація, гомогенізація, охолодження до температури заквашування, сквашування, охолодження, визрівання, фризрування, фасування, загартування, пакування.

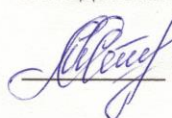
Для виготовлення дослідно-промислової партії було обрано рецептуру морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного, що наведена у табл. 1.

Таблиця 1 – Рецептура морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного (без урахування втрат)


Рецептурний компонент	Масова частка сировини, кг на 1000 кг
Гідролізований концентрат демінералізованої сироватки	750,0
Цукор білий кристалічний	90,0
Ізолят сироваткових білків 90%	30,0
β -глюкан з вівса	5,0
Активована закваска	30,0
Ванілін	1,0
Вода	94
Всього	1000,0


Протокол оцінки показників якості морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного додається.

Від ПрАТ «Львівський холодокомбінат»:

 Олена Михалина

Від НУХТ:

 Галина ПОЛЩУК

 Артур МИХАЛЕВИЧ

В лабораторних умовах ПрАТ «Львівський холодокомбінат» було визначено такі фізико-хімічні показники морозива ацидофільно-сироваткового: титровану кислотність – 60 °Т, активну кислотність – 5,1 од. рН, масову частку білка – 6,6%.

Дегустаційною комісією було встановлено, що усі якісні характеристики морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного відповідали вимогам проєкту нормативної документації (ТУ У 10.5-02070938-334:2024 «Морозиво ацидофільне»).


УХВАЛИЛИ: Виробничі випробування показали, що новий вид морозива, виготовлений згідно до вимог ТУ У 10.5-02070938-334:2024 «Морозиво ацидофільне», повністю відповідає вимогам промислового попиту та може бути рекомендований до широкого впровадження на підприємствах галузі.

Члени комісії:

Старший технолог

 Олена Михалина


Директор з якості
ПрАТ «Львівський холодокомбінат»

 Андрій Згурський

Завідувач кафедри технології
молока і молочних продуктів НУХТ,
проф.

 Галина ПОЛЩУК

Аспірант

 Артур МИХАЛЕВИЧ

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Директор ТОВ "Кременецьке
 молоко"
 М.Б. Задворна М.Б.
 «7» грудня 2021 р.

АКТ

впровадження у виробництво гідролізованих концентратів демінералізованої сироватки, виготовлених у виробничих умовах ТОВ «Кременецьке молоко» відповідно до ДСТУ 4458:2005 «Концентрати білкові молочні. Технічні умови»

Ми, що нижче підписалися, інженер-технолог Дворецький Д. С. та представники Національного університету харчових технологій: завідувач кафедри технології молока і молочних продуктів НУХТ, д. т. н., проф. Поліщук Г. Є., доцент кафедри технології молока і молочних продуктів НУХТ, к. т. н. Кузьмик У. Г., аспірант Михалевич А. П. склали цей акт про те, що у виробничих умовах ТОВ «Кременецьке молоко» здійснено виробництво дослідних партій нових видів концентратів молочних білкових, а саме гідролізованих концентратів демінералізованої сироватки, з метою перевірки технології та відпрацювання режимів у виробничих умовах.

Використана наступна рецептура гідролізованих концентратів демінералізованої сироватки:

Рецептурний компонент	Норма, кг, для концентрату з масовою часткою сухих речовин, %			
	25	30	35	40
Суха демінералізована підсирна сироватка	250	300	350	400
Вода питна	750	700	650	600
Всього:	1000	1000	1000	1000

Примітка. Кількість бактеріального та ферментного препаратів не враховуються у рецептурі, оскільки використовуються препарати прямого внесення.

Технологічний процес виробництва для гідролізованих концентратів демінералізованої сироватки здійснювався за наступною послідовністю

операцій: приймання та підготовка сировини; відновлення сухої демінералізованої сироватки та фільтрування суміші; теплова обробка; охолодження до температури внесення заквашувального і ферментного препаратів; гідроліз; охолодження.

Отримано 100 кг концентратів. Протокол фізико-хімічних досліджень та органолептичної оцінки концентратів додається.

Від ТОВ «Кременецьке молоко»:

Від НУХТ:

 Дмитро ДВОРЕЦЬКИЙ  Галина ПОЛЩУК

 Уляна КУЗЬМИК

 Артур МИХАЛЕВИЧ

ПРОТОКОЛ

дегустації гідролізованих концентратів демінералізованої сироватки, виготовлених у виробничих умовах ТОВ «Кременецьке молоко» відповідно до ДСТУ 4458:2005 «Концентрати білкові молочні. Технічні умови»

ПРИСУТНІ:

- зі сторони ТОВ «Кременецьке молоко»: інженер-технолог Дворецький Д. С.

- зі сторони НУХТ: д. т. н., професор Поліщук Г. Є., к. т. н., доц. Кузьмик У. Г. аспірант Михалевич А. П.

СЛУХАЛИ: Михалевича А. П. про виявлені закономірності ферментолізу лактози у харчових системах з проміжною вологістю та особливості технології виробництва гідролізованих концентратів демінералізованої сироватки, що виготовляється за удосконаленою технологією відповідно до ДСТУ 4458:2005 «Концентрати білкові молочні. Технічні умови».

Для органолептичного оцінювання були представлені зразки гідролізованих концентратів демінералізованої сироватки. Встановлено, що якісні характеристики напівфабрикатів відповідали вимогам чинної нормативної документації.

Фізико-хімічні та органолептичні показники гідролізованих концентратів демінералізованої сироватки наведено в табл. 1 та 2.

Таблиця 1. Фізико-хімічні показники концентратів

Назва показника	Характеристика і норми концентрату з масовою часткою сухих речовин, %			
	25	30	35	40
Масова частка вологи, %, не більше	75,0	70,0	65,0	60,0
Масова частка білку, %, не менше	2,8	3,4	4,0	4,6
Масова частка лактози, не більше, %	0,2	1,7	2,2	2,6
Титрована кислотність, °Т, не більше	200			

Таблиця 2. Органолептичні показники концентратів

Назва показника	Характеристика
Консистенція	Однорідна ніжна маса. Дозволено незначна кількість крупки.
Смак і запах	Кисломолочний, чистий, солодкий, без сторонніх присмаків та запахів. Дозволено: підвищений солодкий смак та аромат внаслідок присутності продуктів гідролізу молочного цукру.
Колір	Від світло-жовтого до темно-жовтого.

УХВАЛИЛИ: Нові види концентратів, виготовлені відповідно до вимог ДСТУ 4458:2005 «Концентрати білкові молочні. Технічні умови», повністю відповідають вимогам промислового попиту та можуть бути рекомендовані до широкого впровадження на підприємствах галузі.

Члени комісії:

Інженер-технолог



Дмитро ДВОРЕЦЬКИЙ

Завідувач кафедри технології
молока і молочних продуктів НУХТ,
проф.


Галина ПОЛЩУК

Доцент, к. т. н.



Ульяна КУЗЬМИК

Аспірант



Артур МИХАЛЕВИЧ

Додаток Г. Розрахунок очікуваної економічної ефективності від впровадження наукової розробки

Розрахунок економічної ефективності від розроблення технології морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного

I. Розрахунок витрат на сировину та матеріали

Таблиця 1 – Розрахунок витрат на сировину і матеріали

Основні складові (сировина, допоміжні матеріали)	Одиниця виміру	Норма витрат на 1 т, т	Вартість за одиницю виміру, грн	Загальна калькуляція витрат на 1 т готової продукції, грн.
1	2	3	4	5
1. Морозиво сироваткове (контроль)				
Сироватка молочна свіжа	т	0,7516	9800,0	7365,7
Цукор білий кристалічний	т	0,1700	31710,0	5390,7
Крохмаль картопляний	т	0,0284	60000,0	1704,0
Активована закваска:				
Закваска ацидофільна	т	0,00005	93000000,0	4650,0
Молоко коров'яче знежирене	т	0,0030	10050,0	301,5
Транспортно-заготівельні витрати*				970,5
Разом витрат, грн.				20382,4
2. Морозиво ацидофільно-сироваткове з β-глюканом вівса				
Гідролізований концентрат демінералізованої сироватки:				
Сироватка суха демінералізована	т	0,3000	51000,0	15300,0
Закваска ацидофільна	т	0,0005	930000,0	4650,0
Молоко коров'яче знежирене	т	0,0300	10050,0	301,5
Фермент лактаза	т	0,0040	3997000,0	1199,1
Вода	т	0,4500	16,16	7,2
Цукор білий кристалічний	т	0,0900	31710,0	2853,9
Ізолят сироваткових білків	т	0,0300	179000,0	5370,0
β-глюкан з вівса	т	0,0050	144000,0	720,0
Активована закваска:				
Закваска ацидофільна	т	0,0005	93000000,0	4650,0
Молоко коров'яче знежирене	т	0,0300	10050,0	301,5
Ванілін	т	0,0001	219000,0	21,9
Вода	т	0,0940	16,16	1,5
Транспортно-заготівельні витрати*				1768,8
Разом витрат, грн				37145,5
3. Морозиво ацидофільно-сироваткове з β-глюканом дріжджів				
Гідролізований концентрат демінералізованої сироватки:				
Сироватка суха демінералізована	т	0,3000	51000,0	15300,0
Закваска ацидофільна	т	0,0005	930000,0	4650,0
Молоко коров'яче знежирене	т	0,0300	10050,0	301,5
Фермент лактаза	т	0,0040	3997000,0	1199,1
Вода	т	0,4500	16,16	7,27
Цукор білий кристалічний	т	0,0900	31710,0	2853,9
Ізолят сироваткових білків 90%	т	0,0300	179000,0	5370,0
β-глюкан дріжджів	т	0,0050	148000,0	740,0
Активована закваска:				
Закваска ацидофільна	т	0,0005	93000000,0	4650,0
Молоко коров'яче знежирене	т	0,0300	10050,0	301,5
Ванілін	т	0,0001	219000,0	21,9
Вода	т	0,0940	16,16	1,5

Транспортно-заготівельні витрати*				1769,8
Разом витрат, грн				37166,5
4. Морозиво ацидофільно-сироваткове з β-глюканом вівса та горіхами				
Гідролізований концентрат демінералізованої сироватки:				
Сироватка суха демінералізована	т	0,3000	51000,0	15300,0
Закваска ацидофільна	т	0,0005	930000,0	4650,0
Молоко коров'яче знежирене	т	0,0300	10050,0	301,5
Фермент лактаза	т	0,0040	3997000,0	1199,1
Вода	т	0,4500	16,16	7,2
Цукор білий кристалічний	т	0,0900	31710,0	2853,9
Ізолят сироваткових білків 90%	т	0,0300	179000,0	5370,0
β-глюкан вівса	т	0,0050	144000,0	720,0
Активована закваска:				
Закваска ацидофільна	т	0,0005	930000000,0	4650,0
Молоко коров'яче знежирене	т	0,0300	10050,0	301,5
Ядра горіхів (арахісу) обсмажені цілі або подрібнені		0,0600	159000,0	9540,0
Ванілін	т	0,0001	219000,0	21,9
Вода	т	0,0940	16,16	1,5
Транспортно-заготівельні витрати*				2245,8
Разом витрат, грн				47162,5
5. Морозиво ацидофільно-сироваткове з β-глюканом вівса та мармеладом				
Гідролізований концентрат демінералізованої сироватки:				
Сироватка суха демінералізована	т	0,3000	51000,0	15300,0
Закваска ацидофільна	т	0,0005	930000,0	4650,0
Молоко коров'яче знежирене	т	0,0300	10050,0	301,5
Фермент лактаза	т	0,0040	3997000,0	1199,1
Вода	т	0,4500	16,16	7,2
Цукор білий кристалічний	т	0,0900	31710,0	2853,9
Ізолят сироваткових білків 90%	т	0,0300	179000,0	5370,0
β-глюкан вівса	т	0,0050	144000,0	720,0
Активована закваска:				
Закваска ацидофільна	т	0,0005	930000000,0	4650,0
Молоко коров'яче знежирене	т	0,0300	10050,0	301,5
Мармелад (шматочки, крихти)		0,0600	95000,0	5700,0
Ванілін	т	0,0001	219000,0	21,9
Вода	т	0,0940	16,16	1,5
Транспортно-заготівельні витрати*				2053,8
Разом витрат, грн				43130,5
6. Морозиво ацидофільно-сироваткове з β-глюканом вівса та сухофруктами				
Гідролізований концентрат демінералізованої сироватки:				
Сироватка суха демінералізована	т	0,3000	51000,0	15300,0
Закваска ацидофільна	т	0,0005	930000,0	4650,0
Молоко коров'яче знежирене	т	0,0300	10050,0	301,5
Фермент лактаза	т	0,0040	3997000,0	1199,1
Вода	т	0,4500	16,16	7,2
Цукор білий кристалічний	т	0,0900	31710,0	2853,9
Ізолят сироваткових білків 90%	т	0,0300	179000,0	5370,0
β-глюкан вівса	т	0,0050	144000,0	720,0
Активована закваска:				
Закваска ацидофільна	т	0,0005	930000000,0	4650,0
Молоко коров'яче знежирене	т	0,0300	10050,0	301,5

Суміш сухофруктів (цукати, родзинки, курага)		0,0600	88000,0	5280,0
Ванілін	т	0,0001	219000,0	21,9
Вода	т	0,0940	16,16	1,5
Транспортно-заготівельні витрати*				2032,8
Разом витрат, грн				42689,4
7. Морозиво ацидофільно-сироваткове з β-глюканом вівса та маком				
Гідролізований концентрат демінералізованої сироватки:				
Сироватка суха демінералізована	т	0,3000	51000,0	15300,0
Закваска ацидофільна	т	0,0005	930000,0	4650,0
Молоко коров'яче знежирене	т	0,0300	10050,0	301,5
Фермент лактаза	т	0,0040	3997000,0	1199,1
Вода	т	0,4500	16,16	7,2
Цукор білий кристалічний	т	0,0900	31710,0	2853,9
Ізолят сироваткових білків 90%	т	0,0300	179000,0	5370,0
β -глюкан вівса	т	0,0050	144000,0	720,0
Активована закваска:				
Закваска ацидофільна	т	0,0005	930000000,0	4650,0
Молоко коров'яче знежирене	т	0,0300	10050,0	301,5
Мак		0,0200	122000,0	2440,0
Ванілін	т	0,0001	219000,0	21,9
Вода	т	0,0940	16,16	1,5
Транспортно-заготівельні витрати*				1890,8
Разом витрат, грн				39707,4
8. Морозиво ацидофільно-сироваткове з β-глюканом дріжджів та горіхами				
Гідролізований концентрат демінералізованої сироватки:				
Сироватка суха демінералізована	т	0,3000	51000,0	15300,0
Закваска ацидофільна	т	0,0005	930000,0	4650,0
Молоко коров'яче знежирене	т	0,0300	10050,0	301,5
Фермент лактаза	т	0,0040	3997000,0	1199,1
Вода	т	0,4500	16,16	7,2
Цукор білий кристалічний	т	0,0900	31710,0	2853,9
Ізолят сироваткових білків 90%	т	0,0300	179000,0	5370,0
β -глюкан дріжджів	т	0,0050	144000,0	720,0
Активована закваска:				
Закваска ацидофільна	т	0,0005	930000000,0	4650,0
Молоко коров'яче знежирене	т	0,0300	10050,0	301,5
Ядра горіхів (арахісу) обсмажені цілі або подрібнені		0,0600	159000,0	9540,0
Ванілін	т	0,0001	219000,0	21,9
Вода	т	0,0940	16,16	1,5
Транспортно-заготівельні витрати*				2245,8
Разом витрат, грн				47162,4
9. Морозиво ацидофільно-сироваткове з β-глюканом дріжджів та медом				
Гідролізований концентрат демінералізованої сироватки:				
Сироватка суха демінералізована	т	0,3000	51000,0	15300,0
Закваска ацидофільна	т	0,0005	930000,0	4650,0
Молоко коров'яче знежирене	т	0,0300	10050,0	301,5
Фермент лактаза	т	0,0040	3997000,0	1199,1
Вода	т	0,4500	16,16	7,2
Цукор білий кристалічний	т	0,0900	31710,0	2853,9
Ізолят сироваткових білків 90%	т	0,0300	179000,0	5370,0
β -глюкан дріжджів	т	0,0050	144000,0	720,0

Активована закваска:				
Закваска ацидофільна	т	0,0005	930000000,0	4650,0
Молоко коров'яче знежирене	т	0,0300	10050,0	301,5
Мед		0,0200	79000,0	1580,0
Ванілін	т	0,0001	219000,0	21,9
Вода	т	0,0940	16,16	1,5
Транспортно-заготівельні витрати*				1847,8
Разом витрат, грн				38804,4
10. Морозиво ацидофільно-сироваткове з β-глюканом дріжджів та сухофруктами				
Гідролізований концентрат демінералізованої сироватки:				
Сироватка суха демінералізована	т	0,3000	51000,0	15300,0
Закваска ацидофільна	т	0,0005	930000,0	4650,0
Молоко коров'яче знежирене	т	0,0300	10050,0	301,5
Фермент лактаза	т	0,0040	3997000,0	1199,1
Вода	т	0,4500	16,16	7,2
Цукор білий кристалічний	т	0,0900	31710,0	2853,9
Ізолят сироваткових білків 90%	т	0,0300	179000,0	5370,0
β-глюкан дріжджів	т	0,0050	144000,0	720,0
Активована закваска:				
Закваска ацидофільна	т	0,0005	930000000,0	4650,0
Молоко коров'яче знежирене	т	0,0300	10050,0	301,5
Суміш сухофруктів (цукати, родзинки, курага)		0,0400	88000,0	3520,0
Ванілін	т	0,0001	219000,0	21,9
Вода	т	0,0940	16,16	1,5
Транспортно-заготівельні витрати*				1944,8
Разом витрат, грн				40841,4
11. Морозиво ацидофільно-сироваткове з β-глюканом дріжджів та карамеллю				
Гідролізований концентрат демінералізованої сироватки:				
Сироватка суха демінералізована	т	0,3000	51000,0	15300,0
Закваска ацидофільна	т	0,0005	930000,0	4650,0
Молоко коров'яче знежирене	т	0,0300	10050,0	301,5
Фермент лактаза	т	0,0040	3997000,0	1199,1
Вода	т	0,4500	16,16	7,2
Цукор білий кристалічний	т	0,0900	31710,0	2853,9
Ізолят сироваткових білків 90%	т	0,0300	179000,0	5370,0
β-глюкан дріжджів	т	0,0050	144000,0	720,0
Активована закваска:				
Закваска ацидофільна	т	0,0005	930000000,0	4650,0
Молоко коров'яче знежирене	т	0,0300	10050,0	301,5
Карамель		0,0100	69500,0	695,0
Ванілін	т	0,0001	219000,0	21,9
Вода	т	0,0940	16,16	1,5
Транспортно-заготівельні витрати*				1803,6
Разом витрат, грн				37875,2

*Транспортно-заготівельні витрати, складають 5-10 % від вартості сировини

II. Розрахунок вартості допоміжних матеріалів

Розрахунок проводиться виходячи із норм витрат допоміжних матеріалів на 1 т продукту та їх вартості.

Таблиця 2 – Розрахунок вартості допоміжних матеріалів

Найменування	Одиниця виміру	Норма витрат на 1 т, т	Вартість за одиницю виміру, грн	Загальна калькуляція витрат на 1 т готової продукції, грн.
Пакувальні матеріали	шт	10000,0	0,9	9000,0
Мийочі засоби	кг	3,1	27,4	84,9
Дезінфікуючі засоби	кг	2,5	42,1	105,3
Разом витрат, грн.				9190,2

III. Розрахунок вартості енерговитрат

Розрахунок проводиться виходячи із норм витрат енерговитрат на 1 т продукту та їх вартості.

Таблиця 3 – Розрахунок вартості енерговитрат

Види енергоносіїв	Одиниця виміру	Норма витрат на 1 т готового продукту		Вартість, за одиницю, грн	Калькуляція витрат на 1 т готової продукції, грн	
		Морозиво сироваткове	Морозиво ацидофільно-сироваткове		Морозиво сироваткове	Морозиво ацидофільно-сироваткове
Пара	т	2,5	3,2	1700,0	4250,0	5440,0
Холодозабезпечення	Гкал.	0,6	0,9	980,0	588,0	882,0
Електроенергія	кВт*год	83,3	98,9	4,32	359,9	427,2
Вода	м ³	45	59	16,16	727,2	953,4
Разом витрат, грн.					5925,1	7702,6

IV. Розрахунок заробітної плати основних виробничих робітників

Таблиця 5 – Розрахунок заробітної плати основних виробничих робітників

Вид продукту	Витрати праці на 1 т морозива, лод-год	Середній розряд у бригаді	Годинна тарифна ставка IV розряду, грн	Основна заробітна плата на 1 т готового продукту, грн.	Додатковий фонд заробітної плати, грн. (30 % від основної)	Загалом, грн.
Морозива сироваткове	12,04	IV	48,0	577,9	173,4	751,3
Морозива ацидофільно-сироваткове низьколактозне	19,0	IV	48,0	912,0	273,6	1185,6

V. Розрахунок відрахувань на соціальні заходи

Відрахування на соціальні заходи складаються з відрахувань за встановленими нормативами від загального фонду заробітної плати на пенсійне забезпечення, соціальне страхування, страхові внески на випадок безробіття, індивідуальне страхування та інші соціальні заходи. На сьогодні ці відрахування становлять 22 %.

Таблиця 6– Розрахунок відрахувань на соціальні заходи

Вид продукту	Заробітна плата на 1т виробів, грн.	Відрахування на соціальні заходи, %	Сума нарахувань на заробітну плату, грн..
Морозива сироваткове	577,9	22	127,1
Морозива ацидофільно-сироваткове низьколактозне	912,0	22	200,6

VII. Розрахунок витрат на утримання і експлуатацію обладнання

Для розрахунку витрат на утримання та експлуатацію підприємство складає кошторис затрат, до якої включаються витрати на амортизацію обладнання, вартість запасних деталей та вузлів, внутрішньозаводське переміщення вантажів та інше. Ці витрати за видами продукції розподіляються пропорційно ЗП виробничих робітників у розмірі 260 % від заробітної плати виробничих робітників.

Таблиця 7– Розрахунок витрат на утримання і експлуатацію обладнання

Вид продукту	Основна заробітна плата на 1т виробів, грн.	Розмір витрат, %	Сума нарахувань на заробітну плату, грн..
Морозива молочного	577,9	260,0	1502,5
Морозива з овочами	912,0	260,0	2371,6

Витрати, які пов'язані з розробкою та освоєнням нових видів морозива молочного з овочами, призначаються в кількості 10% від основної заробітної плати і становлять: $912,0 * 10 / 100 = 91,2$ грн.

Загальновиробничі витрати – це комплексна стаття, яка включає витрати на утримання, опалення, ремонт будинків громадського характеру, амортизаційні відрахування, управлінські витрати з охорони праці та техніки безпеки тощо. Вони складають 300% від загальної заробітної плати й становлять:

для виробництва морозива сироваткового: $577,9 * 300 / 100 = 1733,7$ грн;

для морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного: $912 * 300 / 100 = 2736$ грн.

Таблиця 8– Зведена таблиця витрат

Стаття калькуляції	Витрати на 1 т морозива, грн.										
	Морозиво сирваткове	Морозиво ацидофіліно-сирваткове з глюкозним вівса	Морозиво ацидофіліно-сирваткове з глюкозном дріжджів	Морозиво ацидофіліно-сирваткове з глюкозном вівса та горіхами	Морозиво ацидофіліно-сирваткове з глюкозном вівса та мармеладом	Морозиво ацидофіліно-сирваткове з глюкозном вівса та сухофруктами	Морозиво ацидофіліно-сирваткове з глюкозном вівса та маком	Морозиво ацидофіліно-сирваткове з глюкозном дріжджів та горіхами	Морозиво ацидофіліно-сирваткове з глюкозном дріжджів та медом	Морозиво ацидофіліно-сирваткове з глюкозном дріжджів та сухофруктами	Морозиво ацидофіліно-сирваткове з глюкозном дріжджів та карамеллю
Сировина та основні матеріали, грн	20382,4	37145,5	37166,5	47162,5	43130,5	42689,4	39707,4	47162,4	38804,4	40841,4	37875,2
Допоміжні матеріали, грн	9190,2	9190,2	9190,2	9190,2	9190,2	9190,2	9190,2	9190,2	9190,2	9190,2	9190,2
Енерговитрати, грн	5925,1	7702,6	7702,6	7702,6	7702,6	7702,6	7702,6	7702,6	7702,6	7702,6	7702,6
Заробітна плата основного виробничого персоналу, грн	577,9	912,0	912,0	912,0	912,0	912,0	912,0	912,0	912,0	912,0	912,0
Відрахування на соціальні заходи, грн	127,1	200,6	200,6	200,6	200,6	200,6	200,6	200,6	200,6	200,6	200,6
Витрати на освоєння нових продуктів, грн	-	91,2	91,2	91,2	91,2	91,2	91,2	91,2	91,2	91,2	91,2
Витрати на утримання та експлуатацію устаткування, грн	1502,5	2371,6	2371,6	2371,6	2371,6	2371,6	2371,6	2371,6	2371,6	2371,6	2371,6
Загальновиробничі витрати, грн	1733,7	2736,0	2736,0	2736,0	2736,0	2736,0	2736,0	2736,0	2736,0	2736,0	2736,0
Виробнича собівартість, грн	39438,9	60349,7	60370,7	70366,7	66334,7	65893,6	62911,6	70366,6	62008,6	64045,6	61079,4
Адміністративні витрати, грн*	1183,2	1810,5	1811,1	2111,1	1990,0	1976,8	1887,3	2110,9	1860,2	1921,4	1832,4
Витрати на збут, грн**	985,9	1508,7	1509,3	1759,2	1658,4	1647,3	1572,8	1759,2	1550,2	1601,1	1526,9
Повні витрати, грн.	41608,0	63668,9	63691,1	74236,9	69983,1	69517,8	66371,7	74236,7	65419,1	67568,1	64438,7

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

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

Висновок:

Калькуляція економічної ефективності від розроблення технології морозива ацидофільно-сироваткового низьколактозного дозволяє зробити висновок, що повні витрати на виробництво нового виду морозива складають від 63668,9 до 74236,9 грн/т. Розрахунок проведено за консультативно-методичної допомоги заступника директора з навчальної роботи, к. е. н., доцента Арича М. І.

Аспірант кафедри технології
молока і молочних продуктів


Артур МИХАЛЕВИЧ

Доцент кафедри маркетингу,
к. е. н.


Михайло АРИЧ



Підпис(и) М. Арич
затверджую.
Нач. відділу кадрів НУХТ О. Бессера
27 січня 2025 р.

Додаток Д. Перелік опублікованих праць за темою дисертації

Публікації у фахових виданнях України та за кордоном

1. Osmak, T., Mleko, S., Bass, O., Mykhalevych, A., & Kuzmyk, U. (2021). Enzymatic hydrolysis of lactose in concentrates of reconstituted demineralized whey, intended for ice cream production. *Ukrainian Food Journal*, 10(2), 277-288. DOI: 10.24263/2304-974X-2021-10-2-6. (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.).

<https://nuft.edu.ua/doi/doc/ufj/2021/2/6.pdf>

2. Mykhalevych, A., Polishchuk, G., Nassar, K., Osmak, T., & Buniowska-Olejnik, M. (2022). β -Glucan as a Techno-Functional Ingredient in Dairy and Milk-Based Products-A Review. *Molecules (Basel, Switzerland)*, 27(19), 6313. DOI: 10.3390/molecules27196313. (Закордонне наукове видання, що входить до наукометричних баз Scopus, Web of Science, PubMed, PMC, Embase та ін.).

<https://www.mdpi.com/1420-3049/27/19/6313>

3. Shevchenko, O., Mykhalevych, A., Polishchuk, G., Buniowska-Olejnik, M., Bass, O., & Bandura, U. (2022). Technological functions of hydrolyzed whey concentrate in ice cream. *Ukrainian Food Journal*, 11(4), 498-517. DOI: 10.24263/2304-974X-2022-11-4-3. (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.).

<https://ufj.nuft.edu.ua/indexpre.html?doi=10.24263/2304-974X-2022-11-4-3>

4. Mykhalevych, A., Polishchuk, G., Buniowska-Olejnik, M., Tomczyńska-Mleko, M., & Mleko, S. (2022). Functional and technological properties of protein ingredients in whey ice cream. *Ukrainian Journal of Food Science*, 10(2), 125-135. DOI: 10.24263/2310-1008-2022-10-2-3. (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).

<https://ukrfoodscience.nuft.edu.ua/article?doi=10.24263%2F2310-1008-2022-10-2-3>

5. Михалевич, А. П., Поліщук, Г. Є., Осьмак, Т. Г., & Сапіга, В. Я. (2022). Комплексна органолептична оцінка морозива з β -глюканом вівса. *Харчова промисловість*, 31-32, 15-26. DOI: 10.24263/2225-2916-2022-31-32-4. (Наукове фахове видання України, категорія Б, індексується у наукометричних базах Google Scholar, Index Copernicus).

<https://dspace.nuft.edu.ua/server/api/core/bitstreams/55e0fd58-95e6-4142-b889-3e7e740aac9a/content>

6. Михалевич, А. П., Поліщук, Г. Є., Осьмак, Т. Г., & Кузьмик, У. Г. (2022). Визначення оптимальних параметрів процесу визрівання сумішей нежирного кисломолочного морозива з β -глюканом вівса. *Наукові праці НУХТ*, 28(5), 63-73. DOI: 10.24263/2225-2924-2022-28-5-9. (Наукове фахове видання України, категорія Б, індексується у наукометричних базах EBSCO, Google Scholar, Index Copernicus).

<https://nuft.edu.ua/doi/doc/swnuft/2022/5/9.pdf>

7. Михалевич, А. П., Бреус Н. М., Поліщук, Г. Є., & Басс, О. О. (2023). Дослідження впливу концентратів демінералізованої сироватки на показники якості морозива. *Наукові Праці НУХТ*, 29(2), 114-123. DOI: 10.24263/2225-2924-2023-29-2-11. (Наукове фахове видання України, категорія Б, індексується у наукометричних базах EBSCO, Google Scholar, Index Copernicus).

<https://nuft.edu.ua/doi/doc/swnuft/2023/2/11.pdf>

8. Михалевич, А. П., Поліщук, Г. Є., Бандура, У. Г., & Осьмак, Т. Г. (2024). Вплив білків на реологічні характеристики сумішей морозива на основі рідких концентратів сироватки. *Наукові праці НУХТ*, 30(1), 123-135. DOI: 10.24263/2225-2924-2024-30-2-11. (Наукове фахове видання України, категорія Б, індексується у наукометричних базах EBSCO, Google Scholar, Index Copernicus).

<https://nuft.edu.ua/doi/doc/swnuft/2024/2/11.pdf>

9. Mykhalevych, A., Buniowska-Olejnik, M., Polishchuk, G., Puchalski, C., Kamińska-Dwórznicza, A., & Berthold-Pluta, A. (2024). The Influence of Whey Protein Isolate on the Quality Indicators of Acidophilic Ice Cream Based on Liquid Concentrates of Demineralized Whey. *Foods*, 13(1), 170. DOI: 10.3390/foods13010170. (Закордонне наукове видання, що входить до наукометричних баз Scopus, Web of Science, OpenAIRE, PubMed, PMC, BibCnrs та ін.).

<https://www.mdpi.com/2304-8158/13/1/170>

10. Tomczyńska-Mleko, M., Mykhalevych, A., Sapiga, V., Polishchuk, G., Terpiłowski, K., Mleko, S., Sołowiej, B.G., & Pérez-Huertas, S. (2024). Influence of Plant-Based Structuring Ingredients on Physicochemical Properties of Whey Ice Creams. *Appl. Sci.*, 14(6), 2465. DOI: 10.3390/app14062465. (Закордонне наукове видання, що входить до наукометричних баз Scopus, Web of Science, PubMed, PMC, Embase та ін.).

<https://www.mdpi.com/2076-3417/14/6/2465>

11. Mykhalevych, A., Moiseeva, L., Polishchuk, G., Bandura, U., & Buniowska-Olejnik, M. (2024). Comparative analysis of functional and technological properties of β -glucans from oats and yeast in whey ice cream. *Ukrainian Food Journal*, 13(2), 507-519. DOI: 10.24263/2304-974X-2024-13-3-6. (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.).

<https://ufj.nuft.edu.ua/indexpre.html?doi=10.24263/2304-974X-2024-13-3-6>

12. Mykhalevych, A., Moiseyeva, L., Polishchuk, G., & Bandura, U. (2024). Determining patterns of lactose hydrolysis in liquid concentrates of demineralized whey. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6(11(132)), 24-32. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.318337. (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.).

<https://journals.uran.ua/eejet/article/view/318337/309831>

Особистий внесок здобувача (1-12): аналіз літературних джерел, проведення експериментальних досліджень, узагальнення отриманих даних, написання статті, підготовка до друку.

Тези доповідей та матеріали конференцій

13. Поліщук, Г. Є., Басс, О. О., & Михалевич А. П. (2020). Перспективи використання демінералізованої ферментованої молочної сироватки у складі морозива. *IX Міжнародна науково-технічна конференція «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції»*, Київ: НУХТ, 141-143.

14. Kuzmyk, U., Bass, O., Mykhalevych, A., & Osmak T. (2021). Investigation of the fermentation process of demineralized whey concentrates for ice cream production. *10th International Specialized Scientific and Practical Conference «Trends in LEAN food production and packaging»*, Kyiv: NUFT, 122-123.

15. Михалевич, А. П., Поліщук, Г. Є., & Басс, О. О. (2021). Встановлення можливого ступеня зниження потреби у цукрі при виробництві морозива сироваткового на основі ферментованих концентратів сироватки. *87-а Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів, присвячена 135-річчю Національного університету харчових технологій «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті»*, Київ: НУХТ, Частина 1, 311.

16. Михалевич, А., & Поліщук, Г. Є. (2021). Дослідження процесу ферментативного гідролізу лактози в технології кисломолочного морозива. *IX-а Міжнародна науково-технічна конференція «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті Євроінтеграції»*, Київ: НУХТ, 169-171.

17. Mykhalevych, A., Osmak, T., Bass, O., & Sapiga, V. (2021). Studie des wasseraktivität indicators in fermentierten und unfermentierten molke konzentraten. *I-*

a Всеукраїнська Інтернет-конференція студентів та молодих вчених «Science and innovations in the 21st century», Мелітополь: ТДАТУ, Том 1, 25-26.

18. Osmak, T., Mykhalevych, A., Polischuk, G., & Sapiga, V. (2021). Overcoming protein deficiency – a current issue of contemporaneity. *III-а Міжнародна науково-практична конференція «Європейські виміри сталого розвитку»*, Київ: НУХТ, 118-127.

19. Mykhalevych, A., Sapiga, V., Polischuk, G., & Osmak, T. (2021). Investigation of the process of lactose enzymolysis in the production of acidophilic-whey ice cream. *IIIrd International Conference «European Dimensions of Sustainable Development»*, Kyiv: NUFT, 47-48.

20. Михалевич, А. П., & Басс, О. О. (2022). Дослідження відносної солодкості морозива ацидофільно-сироваткового за різного ступеня заміни цукру. *III-а Міжнародна наукова конференція «Проблеми та перспективи реалізації та впровадження міждисциплінарних наукових досягнень»*, Вінниця: Європейська наукова платформа, 143-144.

21. Polishchuk, G., Bandura, U., Bass, O., Mykhalevych, A. (2023). Influence of demineralized whey concentrates on ice cream sugar content. *9th International Conference «Biotechnologies, present and perspectives»*, Romani: Stefan cel Mare University of Suceava, 25.

22. Михалевич, А., Поліщук, Г., Осьмак, Т., & Сапіга, В. Дослідження впливу ізоляту сироваткових білків на мікроструктуру морозива сироваткового. *II-а Міжнародна науково-практична конференція «Проблеми і практичні підходи виробництва та регулювання використання харчових добавок в країнах Європейського Союзу та в Україні»*, Київ: НУХТ, 151-153.

23. Михалевич, А., Поліщук, Г., & Басс, О. (2023). Дослідження можливості заміни цукру в морозиві на гідролізовані концентрати сироватки. *89-а Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті»*, Київ: НУХТ, Частина 1, 315.

24. Михалевич, А., & Поліщук, Г. (2023). Дослідження піноутворюючих властивостей сумішей морозива сироваткового з білковими добавками. *XI-а Міжнародна науково-технічна конференція «Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті євроінтеграції»*, Київ: НУХТ, 156-157.

25. Михалевич, А., Поліщук, Г., Бандура, У., & Осьмак, Т. (2024). Вплив β -глюкану вівса на швидкість виморожування вільної води у морозиві сироватковому. *90-а Міжнародна наукова конференція молодих учених, аспірантів і студентів «Наукові здобутки молоді – вирішенню проблем харчування людства у XXI столітті»*, Київ: НУХТ, Частина 1, 309.

26. Михалевич А., Поліщук Г., Осьмак Т., & Бандура У. (2024). Спосіб виробництва гідролізованого концентрату сироватки. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції у рамках Всеукраїнського форуму «Молочна промисловість від виробника до споживача: сучасні тренди та орієнтири»*, Київ: НУХТ, 43.

27. Поліщук Г., Осьмак Т., Бандура У., Басс О., & Михалевич А. (2024). Виробництво морозива ацидофільного збагаченого. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції у рамках Всеукраїнського форуму «Молочна промисловість від виробника до споживача: сучасні тренди та орієнтири»*, Київ: НУХТ, 47.

28. Мандюк О., Михалевич А., & Поліщук Г. (2024). Використання концентрату гідролізованої сироватки у ферментованих молочних продуктах. *Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції у рамках Всеукраїнського форуму «Молочна промисловість від виробника до споживача: сучасні тренди та орієнтири»*, Київ: НУХТ, 74.

29. Михалевич, А., & Поліщук Г. (2024). Визначення кріоскопічної температури морозива сироваткового з натуральними стабілізуючими інгредієнтами. *Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні тренди і перспективи в галузі переробки м'яса і молока»*, Київ: НУХТ, 26-27.

30. Михалевич, А. П., Моїсеєва, Л. О., Поліщук, Г. Є., & Бандура, У. Г. (2024). Вивчення процесу гідролізу лактози у концентратах демінералізованої сироватки. *Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті євроінтеграції : Програма та тези матеріалів XIII Міжнародної науково-технічної конференції*, Київ: НУХТ, 278-279.

31. Михалевич, А. П., Моїсеєва, Л. О., Поліщук, Г. Є., & Бандура, У. Г. (2024). Дослідження фізико-хімічних показників гідролізованих концентратів сироватки. *Наукові проблеми харчових технологій та промислової біотехнології в контексті євроінтеграції : Програма та тези матеріалів XIII Міжнародної науково-технічної конференції*, Київ: НУХТ, 282-283.

32. Михалевич, А., & Бандура, У. (2024). Обґрунтування вибору пакування при виробництві морозива сироваткового. *Матеріали II Міжнародної науково-практичної конференції*, ХНТУ, Одеса : Олді+, 104-107.

Патенти

33. Кочубей-Литвиненко, О. В., Поліщук, Г. Є., Осьмак, Т. Г., Михалевич, А. П., Кузьмик, У. Г., & Сапіга, В. Я. (2023). *Спосіб виробництва гідролізованого концентрату сироватки*. Патент на корисну модель № 152382 U UA. Київ: Державна організація “Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій”.

34. Кочубей-Литвиненко, О. В., Поліщук, Г. Є., Осьмак, Т. Г., Михалевич, А. П., Кузьмик, У. Г., & Сапіга, В. Я. (2024). *Спосіб виробництва гідролізованого концентрату сироватки*. Патент на винахід № 128031 UA. Київ: Державна організація “Український національний офіс інтелектуальної власності та інновацій”.

Особистий внесок здобувача (33-34): патентний пошук, участь в розробці способу виробництва концентрату, підготовка патентної заявки.