



---

---

**2024**

---

# НАУКОВІ ПРАЦІ

## НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

**Том 30 № 2**

*Журнал  
«Наукові праці Національного університету харчових технологій»  
видається з 1938 року*

**КИЇВ ✦ НУХТ ✦ 2024**

**Автоматизація та інформаційні технології**

*Міркевич Р. М., Клименко О. М., Міркевич О. М., Полупан В. В., Міркевич Ю. С.* Алгоритми і технології перетворення 2D рисунків у програми траєкторій руху роботів

*Луцька Н. М., Омельченко О. С.* Особливості застосування віртуальних аналізаторів у цифровій інфраструктурі промислового виробництва

**Безпека харчових продуктів і виробництв**

*Шульга О. С., Шульга С. І.* Зміни в харчовому законодавстві України за 2023 рік

**Біотехнології**

*Пирог Т. П., П'ятецька Д. В.* Асоційовані з рослинами бактерії як продуценти поверхнево-активних речовин

*Скороцька О. І., Голубев П. К.* Використання дріжджів роду *Saccharomyces* та їх метаболітів для біосинтезу наночастинок

*Мірошніков І. М., Пенчук Ю. М., Фалалєєва Т. М., Цирюк О. І., Короткий О. Г.* Біосинтез і характеристика пептидів з бактеріцидною активністю

**Економіка, менеджмент і маркетинг**

*Безпалько О. В., Гринюк Ю. М., Редька О. В.* Гнучкий робочий графік на підприємстві: законодавче регулювання та особливості впровадження в HR-практику

**Механічна та електрична інженерія**

*Філоненко В. М.* Ефективність пароконтактної сушарки жому в енергетичному комплексі «Цукровий завод — ТЕЦ»

**Харчові технології**

*Михалевич А. П., Поліщук Г. Є., Бандура У. Г., Осмак Т. Г.* Вплив білків на реологічні характеристики сумішей морозива на основі рідких концентратів сироватки

*Кучеренко В. М., Успенко О. В., Марченко А. Ю.* Нефільтровані вина в сучасному виноробстві: вплив відсутності фільтрації на фізико-хімічні та органолептичні показники

**Automation and information technologies**

7 *Mirkevych R., Klymenko O., Mirkevych O., Polupan V., Mirkevych Y.* Algorithms and technologies for converting 2D drawings into programs for robot movement trajectories

19 *Lutska N., Omelchenko O.* Features of utilizing virtual sensors in the digital infrastructure of industrial production

**Food Products and Manufacturing Safety**

31 *Shulga O., Shulga S.* Food legislation changes of Ukraine for 2023

**Biotechnologies**

44 *Pirog T., Piatetska D.* Bacteria associated with plants as producers of surfactants

61 *Skrotska O., Holubiev P.* Use of *Saccharomyces* yeast and its metabolites for the biosynthesis of nanoparticles

79 *Miroshnikov I., Penchuk Y., Falalyeyeva T., Tsyryuk O., Korotkyi O.* Biosynthesis and characterization of peptides with bacteriocidal activity

**Economy, Management and Marketing**

94 *Bezpalko O., Hryniuk Y., Redka O.* Flexible working schedule at the enterprise: legislation and features of implementation in HR-practice

**Mechanical and Electrical Engineering**

106 *Filonenko V.* Efficiency of the steam-contact dryer for beet pulp in the energy complex "Sugar plant — CHP plant"

**Food Technologies**

123 *Mykhalevych A., Polishchuk G., Bandura U., Osma T.* The influence of proteins on the rheological properties of ice cream mixes based on liquid whey concentrates

136 *Kucherenko V., Uspalenko O., Marchenko A.* Unfiltered wines in modern winemaking: impact of non-filtration on physicochemical and sensory characteristics of filtration

## THE INFLUENCE OF PROTEINS ON THE RHEOLOGICAL PROPERTIES OF ICE CREAM MIXES BASED ON LIQUID WHEY CONCENTRATES

A. Mykhalevych, G. Polishchuk, U. Bandura, T. Osmak

*National University of Food Technologies*

---

**Key words:**

*Liquid whey concentrate*  
*Proteins*  
*Foam resistance*  
*Foam overrun*  
*Thixotropy*  
*Ice cream*

---

**Article history:**

Received 05.03.2024  
Received in revised form  
26.03.2024  
Accepted 05.04.2024

---

**Corresponding author:**

A. Mykhalevych

**E-mail:**

artur0707@ukr.net

**Citation:** Михалевич А. П., Поліщук Г. С., 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

---

**ABSTRACT**

Whey ice cream is a dessert of semi-industrial production, the technology and chemical composition of which needs improvement. A promising direction is the enrichment of whey ice cream with proteins of various origins, which can improve its quality indicators and expand the group of potential consumers. The effect of protein ingredients on the rheological characteristics of ice cream mixes based on liquid concentrates of demineralized whey is shown in the article. Whey protein isolate (3%) was found to provide the highest foam overrun (172.5—225.0%) and foam resistance (47.7—52.4%) compared to other protein ingredients. The effective viscosity of whey mixes indicated its increase in all samples, except for the mix with soy protein isolate, which forms an insufficiently stable gel network. Micellar casein concentrate (3%) and whey protein concentrate (3—5%) increase the viscosity of the system, but this effect is less pronounced compared to whey protein isolate (3%). According to the results of the deformation curves analyze of the experimental mixes the ability of whey protein supplements to form a coagulation structure with thixotropic properties was revealed, which grows with the increase in the degree of protein purification. The ice cream mixes with whey proteins by order of increase of the structure restoration degree after the complete destruction of bonds, can be arranged in the following sequence: 3% whey protein concentrate < 3% whey protein isolate < 5% whey protein isolate. The prospect of further research consists of a comprehensive study of the quality indicators of ice cream using whey protein isolate, in particular during storage.

## ВПЛИВ БІЛКІВ НА РЕОЛОГІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ СУМІШЕЙ МОРОЗИВА НА ОСНОВІ РІДКИХ КОНЦЕНТРАТІВ СИРОВАТКИ

А. П. Михалевич, Г. Є. Поліщук, У. Г. Бандура, Т. Г. Осмак

Національний університет харчових технологій

Сироваткове морозиво є десертом напівкомерційного виробництва, технологія та хімічний склад якого потребують удосконалення. Перспективним напрямком є збагачення сироваткового морозива білками різного походження, що може поліпшити показники його якості та розширити коло потенційних споживачів. У статті досліджено вплив білкових інгредієнтів на реологічні характеристики сумішей морозива на основі рідких концентратів демінералізованої сироватки. Встановлено, що ізолят сироваткових білків (3%) забезпечує найвищі показники пінозбитості (172,5—225,0%) та піностійкості (47,7—52,4%), якщо порівняти з іншими білковими інгредієнтами. Вимірювання ефективної в'язкості сироваткових сумішей вказує на її збільшення у всіх зразках, окрім суміші з ізолятом соєвого білка, що формує недостатньо стабільну сітку гелю. Концентрат міцелярного казеїну (3%) та концентрат сироваткових білків (3—5%) підвищують в'язкість систем, проте ця дія є менш вираженою, ніж при застосуванні ізоляту сироваткових білків (3%). За результатами аналізу кривих деформації дослідних сумішей виявлено здатність сироваткових білкових добавок до формування коагуляційної структури з тиксотропними властивостями, що за підвищення ступеня очистки білків збільшується. За збільшенням ступеня відновлення структури після повного руйнування зв'язків суміші морозива з сироватковими білками можна розташувати в такій послідовності: 3% концентрат сироваткових білків < 3% ізолят сироваткових білків < 5% ізолят сироваткових білків. Перспектива подальших досліджень полягає в комплексному дослідженні показників якості морозива з використанням ізоляту сироваткових білків, зокрема під час зберігання.

**Ключові слова:** рідкий концентрат сироватки, білки, пінозбитість, пінозбитість, тиксотропність, морозиво.

**Постановка проблеми.** Молочна промисловість продовжує активні пошуки ефективного застосування різних видів сироватки. Одним із перспективних напрямків є розробка морозива підвищеної харчової цінності з використанням білкових добавок різного походження. Сироваткове морозиво відрізняється від традиційних видів морозива нижчим вмістом сухих речовин, зокрема жиру та білка, що робить можливим утворення вад якості при його виробництві та подальшому зберіганні. Саме тому актуальним є пошук і дослідження натуральних інгредієнтів, які здатні ефективно зв'язувати вільну воду в морозиві та поліпшувати реологічні характеристики. Білкові концентрати та ізоляти є прикладами ефективних біополімерів, що здатні не тільки підвищувати загальний вміст білка у продуктах, але й можуть виявляти численні функціональні та технологічні функції в технології морозива, як-от стабілізація структури, зв'язування вільної води, підвищення

піноутворюючих властивостей та в'язкості, запобігання росту кристалів льоду під час фризювання та низькотемпературного зберігання готового продукту (Rout, & Saha, 2023; de Paula et al., 2024; Marimon-Valverde, Lainez-Ramirez, Sepúlveda-Valencia, Mejía-Villota, & Rodríguez-Sandoval, 2024). Однак наукова інформація щодо впливу білкових добавок на реологічні властивості сумішей морозива сироваткового є вкрай обмеженою, що обумовлює інтерес до проведення дослідження.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сироваткове морозиво є замороженим десертом, який виготовляють на основі свіжої підсирної сироватки або сироватки з-під сиру кисломолочного з можливим додаванням овочевих або фруктових соків, молочнокислих бактерій і смако-ароматичних наповнювачів (Patil, & Banerjee, 2017; Sitnikova, & Tvorogova, 2019). Низька масова частка сухих речовин у такому морозиві може спричинити виникнення вад консистенції та смаку під час зберігання готового продукту (Oli, 2020; Zhao, Khalesi, He, & Fang, 2023).

Потрібно зазначити, що сироваткове морозиво відноситься до морозива любительської групи, а не до масового виробництва, що обумовлює його специфічні фізико-хімічні характеристики. Згідно з Goff (2013) різні види морозива, що вважаються найбільш комерційно популярними у країнах з найбільшим рівнем споживання та виготовлення морозива, містять 29—37% сухих речовин. Конкретні вимоги щодо складу сироваткового морозива не регламентуються. У науковій літературі дослідження щодо повної заміни молочних інгредієнтів (молоко коров'яче, вершки, масло тощо) на сироватку суху або рідку практично відсутні (Kamińska-Dwórznińska, Łaba, & Jakubczyk, 2022) та не містять даних щодо хімічного складу продукту.

De Meneses et al. (2022) визначили хімічний склад молока як класичного інгредієнта традиційних видів морозива та вторинних молочних ресурсів (маслянка, сироватка) як основи для виробництва сироваткового морозива та з'ясували, що вона становить 15,2% для молока незбираного, 5,53% — для сироватки з-під рикоти, 6,47% — для сироватки з-під сиру сичужного та 8,64% — для маслянки. Отримані дані вказують на те, що використання тільки сироватки як молочної основи суттєво знижує масову частку сухих речовин у морозиві (de Meneses et al., 2022).

На попередньому етапі дослідження було обґрунтовано склад морозива сироваткового на основі рідкого концентрату демінералізованої сироватки, використання якого забезпечувало підвищення масової частки сухих речовин до 41,61%, зокрема 3,3% білка (Shevchenko et al., 2022).

Проте подальше підвищення масової частки білка є доцільним для досягнення таких технологічних результатів:

- запобігти надлишковому формуванню кристалів лактози за рахунок здатності білкових інгредієнтів формувати міцний каркас, що частково протидіє росту кристалів льоду;
- забезпечити формування належних фізико-хімічних показників (збитість, опір до танення), а також смакових характеристик;
- підвищити харчову цінність готову продукту.

Однак з метою прогнозування можливого впливу білкових інгредієнтів на показники морозива доцільно проводити дослідження їх реологічної поведінки у складі сумішей.

Серед білкових добавок для одержання стійких пін найчастіше використовують концентрати та ізоляти сироваткових білків (Liszka-Skoczylas, Ptaszek, & Żmudziński, 2014). Було доведено, що сироваткові білки можуть частково замінити жир завдяки їх позитивному впливу на в'язкість. Вони здатні знижувати швидкість танення та покращувати органолептичні властивості морозива з низьким вмістом жиру (Mostafavi et al., 2017; Yilsay et al., 2006).

Відомо, що ізолят сироваткових білків використовувався для підвищення рівня білка в морозиві з буйволового молока до 6, 8 і 10%. Це призвело до зниження показника текучості (з 0,86 до 0,57) та підвищення коефіцієнта консистенції (з 0,18 Па·с до 4,22 Па·с) суміші морозива. Однак зі збільшенням вмісту білка у зразках зменшилася збитість (з 94,9% до 33,9%) та зросла твердість (з 13,60 Н до 47,66 Н) (Roy, Hussain, Prasad, & Khetra, 2022).

Властивості концентрату міцелярного казеїну в технології морозива є маловивченими, а в технології сироваткового морозива взагалі недослідженими. Аналіз наукової літератури вказує на те, що концентрат міцелярного казеїну має практичне застосування в кількох молочних та інших харчових продуктах завдяки своїм унікальним функціонально-технологічним властивостям, зокрема вчені звертають увагу на здатність до піноутворення, емульгування, диспергування, термостабільність, м'який смак і здатність зв'язувати воду (Hammam, Martínez-Monteagudo, & Metzger, 2021; Carter, Cheng, Kapoor, Meletharayil, & Drake, 2021).

Lu, McMahan, & Vollmer (2016) вивчали властивості холодного гелеутворення висококонцентрованих систем міцелярного казеїну (23% загального білка). Розчини концентрату міцелярного казеїну, змішані з вершками, утворювали гелі при низьких температурах (5 °C) і переходили в рідкий стан при нагріванні до 50 °C.

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. Ізолят соєвого білка широко використовується завдяки високій доступності та функціональності (Biswas, Chakraborty, & Choudhuri, 2002; Dervisoglu, Yazici, & Aydemir, 2005; Friedeck, Aragul-Yuceer, & Drake, 2003; Puppo та ін., 2008). Хоча деякі дослідження проводилися із 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.

**Метою дослідження** є вивчення впливу білкових інгредієнтів на реологічні властивості сумішей морозива на основі рідких концентратів сироватки.

Для досягнення окресленої мети було визначено такі завдання:

1. Вивчити вплив білків на піноутворюючі властивості сироваткових сумішей морозива.
2. Дослідити в'язко-пружну поведінку сумішей морозива з білковими добавками.
3. Обрати найбільш раціональні білки та їх концентрацію для застосування у технології морозива сироваткового.

**Матеріали і методи.** Для виробництва сумішей морозива використовували рідкий концентрат демінералізованої сироватки (Osmak, Mleko, Bass, Mykhalevych, & Kuzmuk, 2021), стабілізаційну систему Cremodan SE 406 (DuPont™,

Danisco®), цукор білий кристалічний, ванілін і воду питну. Як білкові інгредієнти застосовували ізолят соєвого білка 90% (ISOPRO 900EM-UI, Китай), концентрат сироваткових білків 70% (Гадячсир, Україна), концентрат міцелярного казеїну 85% (Ingredia Promilk, Франція), ізолят сироваткових білків (Spomlek, Польща).

Як контроль було обрано суміш морозива сироваткового на основі рідкого концентрату демінералізованої сироватки (масова частка сухих речовин — 41,61%, з них масова частка жиру — 0,74%, масова частка білка — 3,3%). Для виробництва дослідних сумішей використовували білкові інгредієнти у кількості від 3 до 11% з кроком у 2%. Обрані діапазони вмісту білкових добавок забезпечували продукт білком на рівні 14,03—26,7%, що дає право вважати такий продукт збагаченим білком (понад 12%) або джерелом білка (понад 20%) (Regulation (EC) No 1924/2006).

Сушу демінералізовану сироватку відновлювали в питній воді за температури (40—45) °С для одержання концентрату з масовою часткою сухих речовин 40%. Концентрат фільтрували, пастеризували за температури (85—88) °С впродовж 3—5 хв, охолоджували до температури (40—43) °С.

Сухі компоненти рецептури відновлювали у воді за температури (40—45) °С, фільтрували, після чого до отриманих сумішей вносили концентрат сироватки та перемішували протягом 1—2 хв. Пастеризацію проводили за температури (85±2) °С впродовж 5 хв і з подальшою гомогенізацією за тиску (12,0±2,5) МПа за допомогою лабораторного гомогенізатора-диспергатора моделі 15M-8TA «Lab Homogenizer & Sub-Micron Disperser» (GAULIN CORPORATION, Massachusetts, USA). Гомогенізовані суміші охолоджували до температури (4±2) °С, витримували не менше 2 годин.

Хімічний склад виготовлених сумішей морозива з білковими добавками:

- масова частка сухих речовин — 42,6—50,6%;
- масова частка жиру — 0,74—0,85%;
- масова частка білку — 6,02—13,57%;
- масова частка цукру — 11%.

Визначення пінозбитості сумішей морозива здійснювали за температури 2—6 °С шляхом збивання за допомогою міксеру з насадкою протягом 5, 10 та 15 хв з перервами у 5 хв за модифікованим методом (Lim, Swanson, & Clark, 2008). Пінозбитість визначали як відношення об'єму збитої суміші до її початкового об'єму, виражене у відсотках.

Визначення піностійкості проводили 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.

Визначення реологічної поведінки сумішей проводили з використанням ротацийного віскозиметра з вимірювальною системою «циліндр-циліндр» шляхом зняття кривих кінетики деформації при температурі 20 °С. Вимірювання напруги зсуву  $\tau$  (Па) проводили при дванадцяти значеннях градієнта швидкості зсуву  $D$  в діапазоні від 3 до 1312,2  $\text{c}^{-1}$  при прямому та зворотному ході (Bass, Polischuk, & Goncharuk, 2017). Фіксували максимальну ефективну в'язкість практично незруйнованої структури ( $\gamma=3 \text{ c}^{-1}$ ), мінімальну ефективну в'язкість гранично зруйнованої

структури ( $\gamma=1312,2 \text{ c}^{-1}$ ) та ефективну в'язкість відновленої структури ( $\gamma=3 \text{ c}^{-1}$ ). Ступінь відновлення структури сумішей морозива (тиксотропну здатність) визначали у відсотках за різницею значень ефективної в'язкості практично незруйнованої структури на початку та наприкінці вимірювання при градієнті швидкості зсуву ( $\gamma=3 \text{ c}^{-1}$ ) (Sapiga, Polischuk, Buniowska, Shevchenko, & Osmak, 2021).

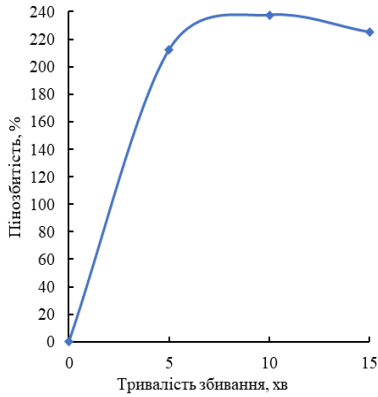
Дані були виражені як середні значення зі стандартними відхиленнями за трикратного вимірювання. Статистичний аналіз проводили за допомогою програми Statistika 10. Відмінності вважали достовірними при валідності  $\alpha=0,95$ .

**Викладення основних результатів дослідження.** Вплив білкових інгредієнтів на піноутворювальну здатність сумішей морозива сироваткового за їх варійованого вмісту від 3 до 11% наведено на рис. 1. Найменшу технологічну ефективність виявляє ізолят соєвого білка, незалежно від масової частки цієї добавки. 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. 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 хв збивання. Ізолят сироваткових білків (3—5%) демонструє найбільшу технологічну активність у складі сироваткових сумішей. Використання 3% добавки наближує значення пінозбитості до значень контрольної суміші. За підвищення масової частки ізоляту до 5% відбувається зниження пінозбитості, що особливо помітно після 10 та 15 хв збивання. Подальше збільшення масової частки ізоляту сироваткових білків (7—11%) є недоцільним через суттєве зниження піноутворюючих властивостей сумішей внаслідок їх суттєвішого структурування.

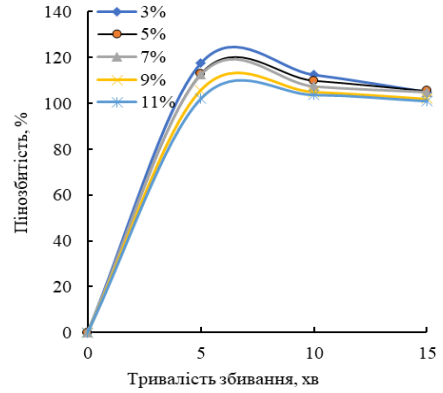
Shao, Lin, & Kao (2016) повідомляли про обмежену здатність соєвих концентратів та ізолятів до піноутворення через специфічну структуру, що обумовлює необхідність попередньої підготовки, наприклад, гідротермічним способом. Також можливою причиною зниження пінозбитості сироваткових сумішей може бути висока вологоутримуюча здатність ізоляту сироваткових білків, що формує еластичну сітку гелю, яка не відрізняється особливою міцністю (Zhang et al., 2024).

Піностійкість сироваткових сумішей у разі використання ізоляту сироваткового білка знижується з відповідним зниженням пінозбитості (табл. 1), однак для інших добавок така взаємозалежність не спостерігається. Піностійкість сумішей з міцелярним казеїном є дещо вищою, ніж у разі використання концентрату сироваткових білків, що може обґрунтовуватися 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, якщо порівняти з іншими білковими добавками (Li, Li, Yuan, Wang, Li, & Zhang, 2020).

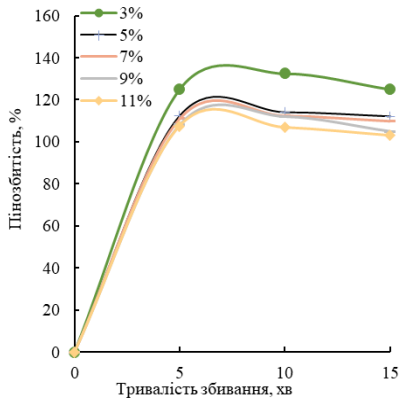
Hogan, Chaurin, O'Kennedy, & Kelly (2012) встановили, що міцелярний казеїн забезпечує більш пластичну структуру в батончиках протягом усього терміну придатності, на відміну від концентрату сироваткових білків та ізоляту сироваткових білків, використання яких збільшувало твердість продукту.



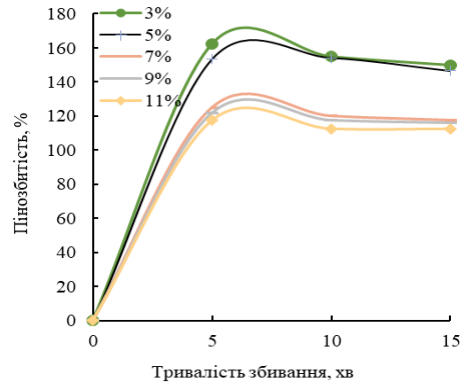
*a*



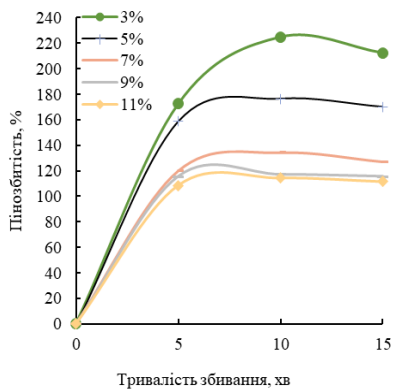
*б*



*в*



*г*



*д*

**Рис. 1. Пінозбитість сумішей морозива сироваткового з білковими добавками за їх варійованого вмісту від 3 до 11% : *a* — контроль; *б* — ізолят сироваткового білка; *в* — концентрат міцелярного казеїну; *г* — концентрат сироваткових білків; *д* — ізолят сироваткових білків**

*Таблиця 1. Піностійкість сироваткових сумішей з білками та без*

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

Водночас Long, Zhao, Sun-Waterhouse, Lin, & Zhao (2016) повідомляли, що часткова заміна казеїнату натрію концентратом сироваткових білків покращувала піностійкість збитих вершків, проте знижувала пінозбитість.

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 хв збивання.

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.

Вплив білкових інгредієнтів на піноутворюючі властивості сумішей є доволі різним залежно від одержання та хімічного складу досліджуваних систем, що

обумовлює необхідність дослідження індивідуально кожної системи.

За результатами дослідження піноутворюючих властивостей сироваткових сумішей було обрано найкращі зразки з кожною з білкових добавок для визначення в'язкісно-швидкісних характеристик цих систем (табл. 2).

*Таблиця 2. В'язкісно-швидкісні характеристики сироваткових сумішей з білковими добавками*

Суміш морозива	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	600,1±10,4	23,2±0,6	280,8±6,3	4,9±0,1	46,8
3% ІСОБ	560,5±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

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

Контрольна суміш морозива виявляє відносно непогану тиксотропну здатність, що передусім обумовлено її хімічним складом, насамперед, високим вмістом сухих речовин і присутністю сироваткових білків (3,3%). Додавання білкових добавок до сироваткових сумішей збільшує ефективну в'язкість в усіх випадках, окрім ізоляту соєвих білків. Незважаючи на його високу здатність до абсорбування вологи, він формує недостатньо стабільну сітку гелю, що після руйнування виявляє меншу здатність до самочинного відновлення структури. Міцелярний казеїн і концентрат сироваткових білків (3—5%) підвищують в'язкість систем, проте ця дія є менш вираженою, ніж при застосуванні ізоляту сироваткових білків (3%).

Beliciu, & Moraru (2011) повідомляли, що в білкових сумішах гелеутворення відбувається при концентрації соєвого білка понад 7,5% і температурі обробки вище 80 °С. Встановлено, 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 цих білків у водних сумішах на рівні 7,5—12,5% з використанням обробки при температурі понад 90 °С призводили до поділу фаз, низької в'язкості і низької межі текучості, тоді як концентрації понад 15%, за теплової обробки при 90 °С продемонстрували агрегацію білків і початкове утворення сітки гелю (Beliciu, & Moraru, 2011). Очевидно, що в цьому дослідженні концентрація як міцелярного казеїну, так і ізоляту соєвого білка в сироваткових сумішах була значно меншою, як і температура теплової оброблення. Спільно ці чинники не дають змогу отримати значного ефекту від використання міцелярного казеїну, а в разі 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 складаються з безперервної тривимірної мережі з'єднаних частинок сітки в гелях, пов'язані з міцністю утворених гелів. Соеві білки формують гідрогелі, що мають більшу еластичність, в той час як ниткоподібні сітки гелю, сформовані сироватковими білками, підвищують в'язкість і 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. Це пояснює зниження здатності до відновлення суміші при застосуванні ізоляту соєвого білка, тоді як використання навіть вищих концентрацій ізоляту сироваткових білків (5%) дає змогу досягти технологічного ефекту.

На думку інших вчених, розчинність білків, особливо в багатокомпонентних системах, має першочергове значення щодо впливу на реологічну поведінку, зокрема на процес гелеутворення та в'язкопружні властивості (Pelegrine, & Gasparretto, 2005). Розчинність ізоляту сироваткових білків є однією з найвищих і 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 в системах з ізолятом сироваткових білків.

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

Приклади сумішей, що продемонстрували найвищу тиксотропну здатність, зображено на рис. 2.

Аналіз реограм течії дослідних сумішей вказує на виражену 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 структуровання суміші за рахунок підвищення ефективної в'язкості системи. Концентрат сироваткових білків (3%) хоч і поліпшує здатність до відновлення сироваткової суміші порівняно з контрольним зразком, але його дія є доволі помірною.

Порівняння впливу сироваткових добавок на реологічні властивості сироваткових сумішей підтвердило, що найбільш доцільним є подальше дослідження їх складі ізоляту сироваткових білків за масової частки 3%. Обрана концентрація

цього інгредієнта дає змогу досягти максимального технологічного ефекту та містить вищий вміст білка на відміну від концентрату сироваткових білків.

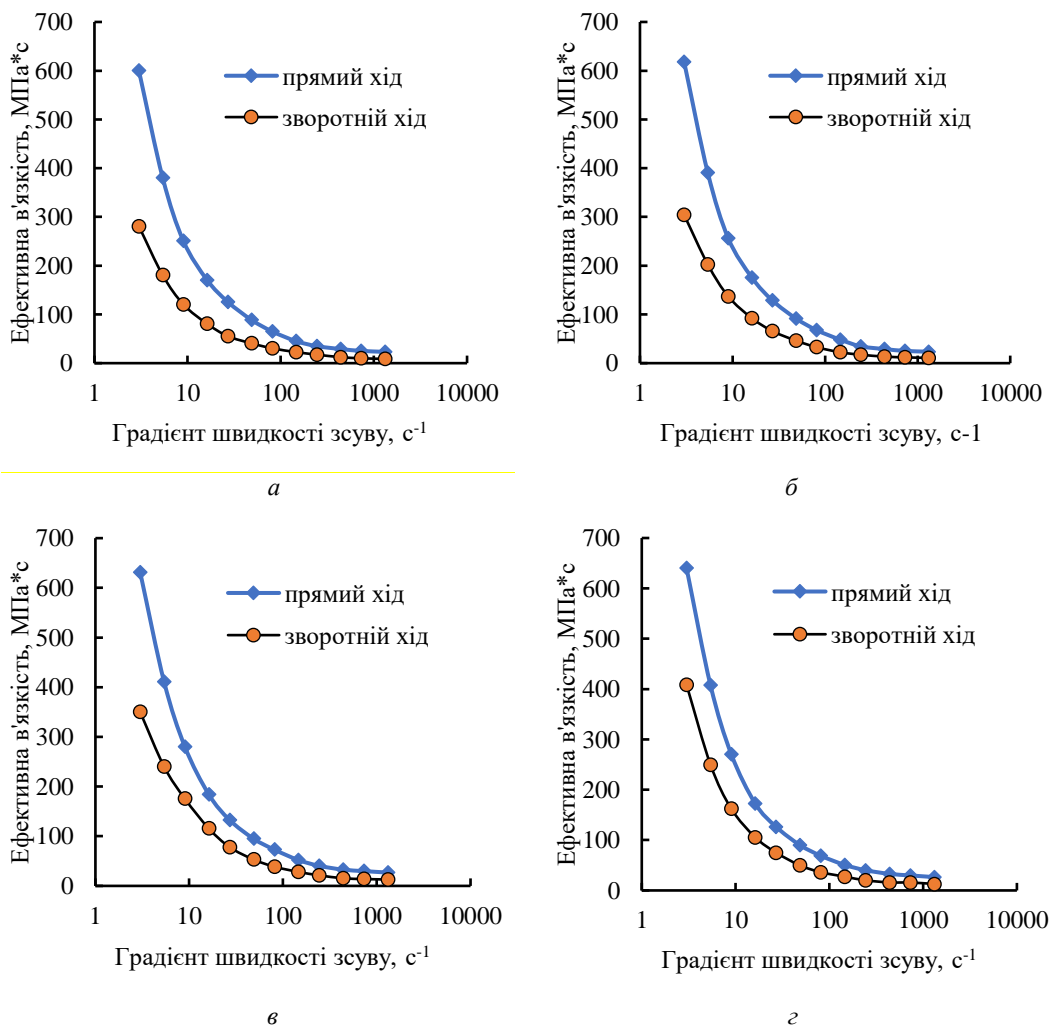


Рис. 2. Реограми течії сироваткових сумішей: а — контроль; б — 3% концентрат сироваткових білків; в — 3% ізолят сироваткових білків; з — 5% ізолят сироваткових білків

## Висновки

1. За результатами вивчення піноутворюючих властивостей встановлено, що ізолят сироваткових білків (3—5%) забезпечує найвищий показник пінозбитості та піностійкості у складі сумішей морозива сироваткового серед усіх білкових добавок.

2. Вивчення реологічної поведінки сироваткових сумішей вказує на помірну здатність концентрату міцелярного казеїну (3%) до відновлення структури, в той час як ізолят соєвого білка (3%) не здатен утворювати стабільну сітку гелю, що

виявляється в погіршенні в'язко-пружних характеристик. Сироваткові добавки демонструють здатність до підвищення тиксотропних властивостей сумішей, що особливо помітно у випадку використання ізоляту сироваткових білків.

3. Ізолят сироваткового білка (3%) було обрано для подальшого дослідження в технології морозива сироваткового як інгредієнт, що забезпечує отримання харчової системи з вираженою здатністю до самочинного відновлення зв'язків.

4. Перспектива подальших досліджень полягає в дослідженні впливу ізоляту сироваткових білків на якісні показники морозива на основі рідких концентратів сироватки.

**Подяка.** Результати отримано в межах науково-дослідних робіт державного фінансування Проблемної науково-дослідної лабораторії НУХТ: «Розроблення технології повторного використання вторинних молочних ресурсів для виробництва нових продуктів та зменшення утворення харчових відходів» (державний реєстраційний номер 0124U000965) та «Наукове обґрунтування та розроблення ресурсоефективних технологій харчової продукції цільового призначення як імператив продовольчої безпеки України» (реєстраційний номер 0123U102060). Автори також висловлюють подяку АТ «Молочний Альянс», яке надало суху демінералізовану сироватку для проведення дослідження.

## Література

- Abirached, C., Medrano, C. A., Araujo, A. C., Moyna, P., Añón, M. C., & Panizzolo, L. A. (2012). Comparison of interfacial and foaming properties of soy and whey protein isolates. *Journal of Food Science and Engineering*, 2, 376—381.
- 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.
- Beliciu, C. M., Moraru, C. I. (2011). The effect of protein concentration and heat treatment temperature on micellar casein—soy protein mixtures. *Food Hydrocolloids*, 25, 1448—1460.
- Carter, B. G., Cheng, N., Kapoor, R., Meletharayil, G. H., Drake, M. A. (2021). Invited review: Microfiltration-derived casein and whey proteins from milk. *J. Dairy Sci.*, 104, 2465—2479.
- 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. *Revista Brasileira de Ciências Agrárias*, 16(1), 1—10.
- De Paula, I. L., Mesa, N. C., Contim, L. T., Ferreira, R. G., Pombo, A. F. W., de Carvalho da Costa, J., Perrone, I. T., & Stephani, R. (2024). The applicability of microparticulated whey protein as an ingredient in different types of foods and its functionalities: a current patent review. *European Food Research and Technology*, 250(2), 633—647.
- Fitzsimons, S. M., Mulvihill, D. M., Morris, E. R. (2008). Segregative interactions between gelatin and polymerized whey protein. *Food Hydrocolloids*, 22, 485—491.
- Goff, H. D., Hartel, R. W. (2013). In *Ice Cream*. Springer: Boston, MA, USA.
- Hammam, A. R. A., Martínez-Monteagudo, S. I., Metzger, L. E. (2021). Progress in micellar casein concentrate: Production and applications. *Compr. Rev. Food Sci. Food Saf.*, 20, 4426—4449.
- Hogan, S. A., Chaurin, V., O'Kennedy, B. T., Kelly, P. M. (2012). Influence of dairy proteins on textural changes in high-protein bars. *International Dairy Journal*, 26(1), 58—65.
- Kamińska-Dwórniczka, 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.
- Li, Y., Li, Y., Yuan, D., Wang, Y., Li, M., & Zhang, L. (2020). The effect of caseins on the stability and whipping properties of recombined dairy creams. *International Dairy Journal*, 105, 104658.

Liang, X., Ma, C., Yan, X., Zeng, H., McClements, D. J., Liu, X., Liu, F. (2020). Structure, rheology and functionality of whey protein emulsion gels: Effects of double cross-linking with transglutaminase and calcium ions. *Food Hydrocolloids*, 102, 105569.

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.

Liszka-Skoczylas, M., Ptaszek, A., & Żmudziński, D. (2014). The effect of hydrocolloids on producing stable foams based on the whey protein concentrate (WPC). *Journal of Food Engineering*, 129, 1—11.

Long, Z., Zhao, M., Sun-Waterhouse, D., Lin, Q., & Zhao, Q. (2016). Effects of sterilization conditions and milk protein composition on the rheological and whipping properties of whipping cream. *Food Hydrocolloids*, 52, 11—18.

Lu, Y., McMahan, D. J., Vollmer, A. H. (2016). Investigating cold gelation properties of recombinant highly concentrated micellar casein concentrate and cream for use in cheese making. *Journal of dairy science*, 99(7), 5132—5143. doi: 10.3168/jds.2015-10791.

Maltais, A., Romondetto, G. E., Subirade, M. (2009). Soy protein cold-set hydrogels as controlled delivery devices for nutraceutical compounds. *Food Hydrocolloids*, 23, 1647—1653.

Marimon-Valverde, S., Lainez-Ramirez, S., Sepúlveda-Valencia, J. U., Mejia-Villota, A., & Rodriguez-Sandoval, E. (2024). Quality characteristics of low-fat ice cream mixtures as affected by modified cassava starch and hydrocolloids. *International Journal of Food Properties*, 27(1), 123—132.

Oli, L. (2020). Ice Cream Nutrition and Its Health Impacts. *Acad. Res. J. Agri. Sci. Res.*, 8(3), 189—199.

Onwulata, C. I., Tunick, M. H., Mukhopadhyay, S. (2014). Flow behavior of mixed-protein incipient gels. *International journal of food properties*, 17(6), 1283—1302.

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.

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.

Pelegrine, D. H. G., Gasparetto, C. A. (2005). Whey proteins solubility as function of temperature and pH. *LWT-Food Science and Technology*, 38, 77—88.

Rout, P., Saha, S. (2023). Rheology of ice cream: From fundamentals to applications. *Innovations in Agriculture*, 6, 01—01.

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.

Sapiga, V., Polischuk, G., Buniowska, M., Shevchenko, I., Osmak, T. (2021). Polyfunctional properties of oat  $\beta$ -glucan in the composition of milk-vegetable ice cream. *Ukrainian Food Journal*, 10(4), 691—702. doi: 10.24263/2304974X-2021-10-45.

Shao, Y. Y., Lin, K. H., Kao, Y. J. (2016). Modification of foaming properties of commercial soy protein isolates and concentrates by heat treatments. *Journal of food quality*, 39(6), 695—706.

Shevchenko, O., Mykhalevych, A., Polischuk, G., Buniowska-Olejnik, M., Bass, O., Bandura, U. (2022). Technological functions of hydrolyzed whey concentrate in ice cream. *Ukr. Food J.*, 11, 498—517.

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.

Zhang, L., Li, Q., Zhang, W., Bakalis, S., Luo, Y., Lametsch, R. (2024). Different source of commercial soy protein isolates: Structural, compositional, and physicochemical characteristics in relation to protein functionalities. *Food Chemistry*, 433, 137315.

Zhao, Y., Khalesi, H., He, J., Fang, Y. (2023). Application of different hydrocolloids as fat replacer in low-fat dairy products: Ice cream, yogurt and cheese. *Food Hydrocolloids*, 108493. doi: 10.1016/j.foodhyd.2023.108493.