

STUDY OF THE INFLUENCE OF DEMINERALIZED WHEY CONCENTRATES ON ICE CREAM QUALITY INDICATORS**A. Mykhalevych, N. Breus, G. Polishchuk, O. Bass***National University of Food Technologies*

Key words:

Whey concentrate
Optimization
Sweetness index
Ice cream
Sucrose

Article history:

Received 15.02.2023
Received in revised form
02.03.2023
Accepted 25.03.2023

Corresponding author:

A. Mykhalevych
E-mail:
artur0707@ukr.net

ABSTRACT

The article scientifically substantiates the possibility of partially replacing sugar in whey ice cream with demineralized whey concentrates with a mass fraction of solids 40%. This will enrich the finished product with whey proteins, maintain a balance in terms of solids content, provide the degree of sweetness inherent in classic ice cream, and prevent consistency defects during storage. At the first stage, a sensory assessment of ice cream samples based on fermented and unfermented demineralized whey concentrates with a mass fraction of sugar from 9 to 17% was carried out according to 6 descriptors of the perception of sucrose sweetness according to authors developed gradation. With the use of mathematical modeling in MathCad 15 mathematical package, the degree of replacement of sugar in ice cream with solids of demineralized whey concentrate was optimized. It was established that the reduction in the need for sugar in ice cream with non-hydrolyzed whey concentrate reached 29% in terms of its total content, and with hydrolyzed concentrate — by 42%.

Based on the obtained data, whey ice cream recipes based on whey concentrates were developed. In order to comprehensively evaluate the developed ice cream recipes, an analysis of their chemical composition was carried out in comparison with classic whey ice cream recipe. In new types of ice cream, the level of protein supply increased from 2.95 to 8.3—8.7% for an increase in the mass fraction of solids from 25 to 39.61—41.61%, which is comparable in terms of these indicators with full-fat analogues of ice cream. The biological value of ice cream samples with whey concentrates also increased from 40.8 to 58.3%. According to the mass fraction of lactose, preference is given to ice cream with hydrolyzed whey concentrate, which has a positive effect on its nutritional value.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНЦЕНТРАТІВ ДЕМІНЕРАЛІЗОВАНОЇ СИРОВАТКИ НА ПОКАЗНИКИ ЯКОСТІ МОРОЗИВА

А. П. Михалевич, Н. М. Бреус, Г. Є. Поліщук, О. О. Басс

Національний університет харчових технологій

У статті науково обґрунтовано можливість часткової заміни цукру у складі морозива сироваткового на концентрати демінералізованої сироватки з масовою часткою сухих речовин 40% з метою збагачення готового продукту сироватковими білками, підтримання в ньому балансу за вмістом сухих речовин, надання притаманного класичному морозиву ступеня солодкості та запобігання вад консистенції під час зберігання. На першому етапі проведено органолептичну оцінку зразків морозива на основі ферментованих і неферментованих концентратів демінералізованої сироватки з масовою часткою цукру від 9 до 17% за шістьма дескрипторами сприйняття солодкості цукрози згідно з градацією, поданою в авторській редакції. Із застосуванням математичного моделювання в середовищі математичного пакета MathCad 15 оптимізовано ступінь заміни цукру в морозиві на сухі речовини концентрату демінералізованої сироватки.

Встановлено, що зниження потреби в цукрі у морозиві з негідролізованим концентратом сироватки досягали в перерахунку на його загальний вміст 29%, а з гідролізованим концентратом — 42%. На основі отриманих даних було розроблено рецептури морозива сироваткового з додаванням концентратів сироватки. З метою всебічної оцінки розроблених рецептур морозива проведено аналіз їх хімічного складу і порівняно з морозивом сироватковим класичним. У нових видах морозива рівень забезпечення білком підвищується з 2,95 до 8,3—8,7% за збільшення масової частки сухих речовин від 25 до 39,61—41,61%, що співвідносно за цими показниками з повножировими аналогами морозива. Також підвищується біологічна цінність зразків морозива з концентратами сироватки з 40,8 до 58,3%. За масовою часткою лактози перевага надається морозиву з гідролізованим концентратом сироватки, що позитивно впливає на його харчову цінність.

Ключові слова: концентрат сироватки, оптимізація, індекс солодкості, морозиво, сахароза.

Постановка проблеми. Виробництво у світі морозива зі зниженим вмістом жиру (низькожирного та низькокалорійного) зростає з кожним роком, що є однією із сучасних тенденцій зміни споживчих вподобань у напрямку здорового 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 якісні показники під час зберігання. Однак у технології любительських видів морозива, зокрема сироватковому, її частка сягає 17%, що є доволі високим показником. Підхід до заміни сахарози у складі морозива повинен бути раціональним, необхідно враховувати економічну складову та прогнозувати можливий вплив на якість продукту під час зберігання.

Використання концентратів демінералізованої сироватки як основи для виробництва сироваткового морозива малодосліджене, передусім через високу присутність у них молочного цукру — лактози, що призводить до утворенню вад консистенції та смаку. Однак застосування гідролізованих концентратів сироватки у складі морозива може допомогти у зниженні вмісту в ньому цукру за рахунок підвищеного ступеня солодкості моносахаридів. Вищезазначені фактори окреслюють науковий інтерес до проведення дослідження можливості розробки рецептур морозива сироваткового на основі концентратів сироватки зі зниженим вмістом цукру і лактози.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зазвичай, виробництво безлактозного морозива або зі зниженим вмістом лактози пов'язано з використанням інгредієнтів, що не містять молочного цукру, або проведенням гідролізу за допомогою ферментного препарату — лактази (Dekker, Koenders, & Bruins, 2019; Facioni, Raspini, Pivari, Dogliotti, & Cena, 2020). Через збільшення вмісту моносахаридів після гідролізу лактози точка замерзання сумішей морозива знижується (Abbasi, & Saeedabadian, 2015; Skryplonek et al., 2019). Це призводить до отримання більш м'якого морозива за тієї ж температури (Romulo, & Meindrawan, 2021). Унаслідок того, що солодкість замороженого десерту збільшується, це дає змогу зменшити масову частку цукру, однак такі зміни зменшують загальну кількість сухих речовин у суміші, що може негативно вплинути на формування структури та інші показники якості морозива під час зберігання (Silva Junior, & Lannes, 2011).

Використання концентрату демінералізованої сироватки у складі морозива є перспективним з огляду на те, що він є джерелом сухих речовин (Kuzmyk, Bass, Mykhalevych, & Osmak, 2021), необхідних для формування характерних ознак морозива. Демінералізована суха сироватка має ряд переваг перед сухою недемінералізованою сироваткою, передусім за вмістом білка. По-друге, низька за вартістю сироватка різного ступеня демінералізації, яку одержують із свіжої підсирної, сирної та казеїнової молочної сироватки, призначена для використання у виробництві харчових продуктів і продуктів дитячого харчування. Високодемінералізована суха сироватка має ряд технологічних переваг, як-то: високу розчинність, низьку гігроскопічність, прогнозований вплив на органолептичні та фізико-хімічні показники за стандартизованого хімічного складу та високої якості продукту з будь-якого виду сироватки (Sychevskyi, Romanchuk, & Minorova, 2019; Stadnyk et al., 2021). Саме тому її використовують у технологіях морозива з низьким вмісту жиру та цукру (Królczyk, Dawidziuk, Janiszewska-Turak, & Solowiej, 2016). Для запобігання надлишковому кристалоутворенню лактози в морозиві під час зберігання застосовують ферментні препарати лактази (Martinez, & Speckman, 1988), що спільно з використанням сухої демінералізованої сироватки дає змогу отримувати бажаний технологічний ефект.

Саме тому використання гідролізованого концентрату демінералізованої сироватки сприятиме вирішенню низки технологічних завдань під час виробництва морозива сироваткового:

- часткова заміна цукру за рахунок підвищеної солодкості моносахаридів у його складі з одночасним підвищенням вмісту сухих речовин до рівня повножирового аналогу 30—40%;

- запобігання надлишковій кристалізації лактози під час зберігання морозива, що призводить до утворення вад консистенції (піщанистість, борошністість).

Мета дослідження: розробка складу нового виду морозива сироваткового підвищеної харчової цінності шляхом використання концентратів демінералізованої сироватки.

Матеріали і методи. Як контроль 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%. Для оптимізації заміни цукру в морозиві сироватковому було обрано концентрат демінералізованої сироватки та гідролізований концентрат демінералізованої сироватки, технологію якого розроблено науковцями кафедри технології молока і молочних продуктів НУХТ (ТУ У 10.5-02070938-311:2022). Було підготовлено дослідні зразки морозива з негідролізованим концентратом сироватки (5 зразків) і з гідролізованим концентратом сироватки (5 зразків), що готували за одночасного зниження вмісту цукру від 17 до 9% і підвищення вмісту 40-відсоткового концентрату сироватки у кількості від 0 до 30% за масовою часткою сухих речовин.

Сушу демінералізовану сироватку відновлювали в питній воді за температури 40...45 °C для одержання концентрату з масовою часткою сухих речовин 40%. Концентрат фільтрували, пастеризували за температури 85...88 °C впродовж 3...5 хв, охолоджували до температури 40...43 °C і одночасно ферментували препаратом GODO-YNL2 та закваскою на основі заквашувального препарату «*L. acidophilus* LYO 50 DCU-S». За одночасного внесення препарату GODO-YNL2 та заквашувального препарату впродовж лаг-фази розвитку *L. Acidophilus* 2...4 год фермент встигає виявити гідролітичну активність при активній кислотності $\text{pH} \geq 5,7$, що дає змогу досягти гідролізу 85% лактози.

Суміші морозива фільтрували, пастеризували за температури 85 ± 2 °C впродовж 5 хв і гомогенізували за тиску $12,0 \pm 2,5$ 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 °C, витримували не менше 2 год і фризрували за допомогою фризера періодичної дії марки ФПМ-3.5/380-50 «Ельбрус-400» (Україна). Процес фризрування проводили у два етапи:

1) етап охолодження до температури мінус 2 °C за частоти обертів мішалки 270 об/хв;

2) етап фризрування до температури мінус 4 °C за частоти обертів мішалки 540 об/хв. Зразки м'якого морозива загартувували і зберігали не менше 48 год у морозильній камері «Caravell A/S» (Данія) за температури мінус 22 ± 1 °C.

Масову частку сухих речовин у концентратах сироватки визначали з використанням сушильної шафи за традиційним способом, запропонованим Асоціацією офіційних хіміків-аналітиків (2016), за методикою, запропонованою Інститутом Адольфо Лутца (Zenebon, & Pascuet, 2005).

Масову частку білка в концентратах сироватки визначали методом К'ельдаля (Kirk, 1950).

Вміст лактози в грамах у концентратах сироватки визначали йодометричним та рефрактометричним методами (Romanchuk, Minorova, & Krushelnytska, 2018; Pomeranz, & Meloan, 1994).

Характеристики концентратів сироватки наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Фізико-хімічні показники концентратів демінералізованої сироватки
($P \geq 0,95$; $n=3$)

Назва показника	Концентрат демінералізованої сироватки	Гідролізований концентрат демінералізованої сироватки
Масова частка сухих речовин, %, не менше	40,0 $\pm$ 0,2	40,1 $\pm$ 0,14
Масова частка білка, %, не менше	4,4 $\pm$ 0,01	4,4 $\pm$ 0,01
Масова частка лактози, %, не більше	30,8 $\pm$ 0,25	6,6 $\pm$ 0,2

Розрахунок оптимального складу морозива сироваткового з концентратами сироватки демінералізованої (5 зразків) та гідролізованої демінералізованої (5 зразків) виконували у середовищі математичного пакета MathCad 15.

Коефіцієнт амінокислотного SKOPy, що є відношенням вмісту незамінної амінокислоти продукту до вмісту відповідної незамінної амінокислоти «ідеального білка» за шкалою FAO/BO3, та біологічну цінність розраховували за спеціальним методом (Bobel, Adamczyk, & Falendysh, 2022).

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

Викладення основних результатів дослідження. Концентрати демінералізованої сироватки з масовою часткою сухих речовин 40% найбільш наближені до хімічного складу морозива жирного за вмістом сухих речовин і ефективні для підтримання балансу саме за вмістом сухих речовин у морозиві нежирному або низькожирному для запобігання вад консистенції, що викликані надлишком вмісту води (Osmak, Mleko, Bass, Mykhalevych, & Kuzmyk, 2021). Що стосується вибору ступеня гідролізу, то в досягнутих межах ефективності цього процесу (від 80 до 90%) очевидно є незначна відмінність ступеня солодкості для гідролізованих зразків, яка не впливатиме суттєво на загальні рекомендації щодо розробки рецептур морозива з ферментованими концентратами сироватки. Тому, зважаючи на вищевказане, для застосування в складі морозива було обрано концентрат з усередненим ступенем гідролізу лактози 85%.

На наступному етапі дослідження було проведено органолептичну оцінку контрольних зразків морозива сироваткового з масовою часткою цукру від 9 до 17% (рис. 1) за 6 дескрипторами сприйняття солодкості цукрози (Trumbo et al., 2021), які в авторській редакції мали таку 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, не-солодкий — 0...0,4.

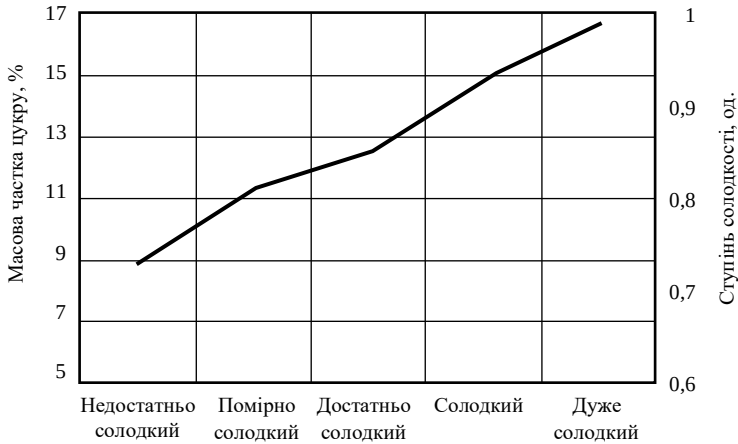


Рис. 1. Кореляція між дескрипторами сприйняття солодкості та індексом солодкості залежно від масової частки цукру в контрольних зразках

Ступінь солодкості зразка морозива сироваткового з масовою часткою цукру 17%, виготовленого за класичною рецептурою, 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 огляду на уподобання 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 і 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 в 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-відсоткового концентрату сироватки у кількостях 25, 50 і 75%.

У загальному вигляді функція відгуку описується таким поліномом:

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

де $x \in R^2$ — вектор змінних; b — вектор параметрів.

Для знаходження відносної солодкості з концентратами сироватки демінералізованої у складі морозива були виведені рівняння регресії у вигляді поліномів

другого ступеня. Отримані рівняння з розрахованими коефіцієнтами мають вигляд:

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

$$F2 = 0,0017 + 0,056x + 0,00005x^2 + 0,0086y + 0,00009y^2 - 0,0001xy, \quad (3)$$

де $F1$ — відносна солодкість морозива з концентратом сироватки демінералізованої (без гідролізу лактози); $F2$ — відносна солодкість морозива з концентратом сироватки демінералізованої (зі ступенем гідролізу лактози 85%); x — м. ч. цукру, %; y — м. ч. сухих речовин демінералізованої сироватки, %.

Для перевірки адекватності отриманих моделей (2) та (3) було проведено обчислення середньоквадратичного відхилення як квадратного кореня з дисперсії за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}{n-1}}, \quad (4)$$

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 концентратом сироватки демінералізованої (зі ступенем гідролізу лактози 80%) — $\sigma_{F2} = 0,0001$, що свідчить про досить високий ступінь відтворюваності результатів дослідження за допомогою площини відгуку.

Відповідно до рівнянь (2) і (3), на рис. 2 наведені графічні залежності функцій відгуку від варійованих параметрів — масової частки цукру та масової частки сухих речовин сироватки (СРКС) у складі морозива.

Згідно з результатами оптимізації складу морозива (рис. 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.

Отже, зниження потреби в цукрі у морозиві з негідролізованим концентратом сироватки в перерахунку на його загальний вміст становить 29%, а з гідролізованим концентратом — 42%.

Повідомлялося, що в разі використання гідролізованої сироватки ступінь заміни цукру в морозиві може становити до 25% (Sofjan, & Hartel, 2004), однак, згідно з одержаними результатами доведено, що цей показник може бути більшим. Навіть негідролізований концентрат за рахунок високого вмісту лактози спроможний частково замінити цукор, хоча у складі морозива внесення лактози у такій кількості може призводити до численних вад консистенції.

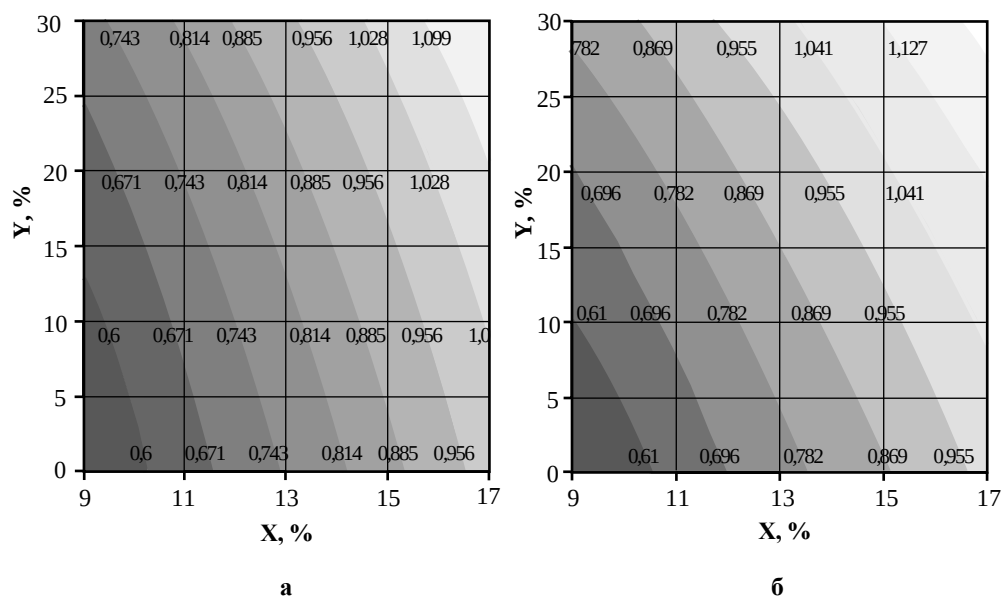


Рис. 2. Графічні залежності у вигляді ізоліній значень відносної солодкості морозива від масової частки цукру, % — X, та масової частки сухих речовин сироватки, % — Y з концентратом сироватки: а — демінералізованої негідролізованої; б — демінералізованої гідролізованої

На основі отриманих даних було розроблено рецептури морозива з використанням концентратів сироватки демінералізованої з максимальною заміною цукру, що наведені у табл. 2.

Таблиця 2. Рецептури морозива сироваткового з концентратами демінералізованої сироватки та без неї

Рецептурні компоненти	Маса компонентів, кг/1000 кг продукту		
	морозиво сироваткове (контроль)	морозиво з негідролізованим концентратом	морозиво з гідролізованим концентратом
Сироватка молочна свіжа підсирна	751,6	-	-
Концентрат де мінералізованої сироватки підсирної з масовою часткою сухих речовин 40%	-	750,0	750,0
Цукор білий кристалічний	170,0	110,0	90,0
Крохмаль картопляний желеуючий	28,4	-	-
Стабілізаційна система Cremodan SE 406	-	6,0	6,0
Закваска ацидофільна	50,0	-	-

Ванілін	-	0,1	0,1
Вода питна	-	133,9	153,9
Всього:	1000,0	1000,0	1000,0

З метою всебічної оцінки розроблених рецептур морозива та їх порівняння з існуючим складом (контроль) було також проведено розрахунок хімічного складу (табл. 3).

Таблиця 3. Хімічний склад морозива сироваткового з концентратами демінералізованої сироватки та без неї

Назва показника	Маса компонентів, кг/1000 кг продукту		
	морозиво сироваткове (контроль)	морозиво з негідролізованим концентратом	морозиво з гідролізованим концентратом
Масова частка сухих речовин, %, не менше	25,0	41,61	39,61
у тому числі:			
білків	0,76	3,3	3,3
жирів	0,1	0,74	0,74
вуглеводів	24,78	34,9	33
лактози	3,9	23,70	3,55
Енергетична цінність, ккал	103,1	159,5	151,7
Забезпечення білком, %	2,95	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), зокрема категорії понадпреміального виду морозива (масова частка сухих речовин 40...42%) у разі застосування негідролізованого концентрату та до категорії преміального (масова частка сухих речовин 38...40%) у разі використання гідролізованого концентрату (Romulo, & Meindrawan, 2021). Масова частка високоцінних сироваткових білків у морозиві на основі концентратів сироватки відповідає середньому вмісту білка у традиційних видах морозива 2,5...3,8%, та перевищує діапазон для любительських видів морозива, що є значно нижчим і становить 1,28...1,41% (Polishchuk et al., 2021; Young, 2007). Рівень забезпечення білком значно перевищує контрольний склад, однак є недостатнім для того, щоб віднести його до продукту, збагаченого білком (понад 12% забезпечення білком відповідно до регулятиви ЄС No 1924/2006), що буде одним з подальших напрямків дослідження. Загалом дані з табл. 3 свідчать про суттєве підвищення харчової цінності розроблених складів морозива на основі 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.

Висновки

За результатами органолептичної оцінки зразків морозива сироваткового за критерій оптимізації складу морозива обрано ступінь солодкості від 0,8 до 0,9 з огляду на уподобання сучасних споживачів до продуктів десертного призначення помірної солодкості.

Оптимізовано ступінь заміни цукру в морозиві на сухі речовини концентрату демінералізованої сироватки. Так, зниження потреби в цукрі в морозиві з негідролізованим концентратом сироватки може досягати в перерахунку на його загальний вміст 29%, а з гідролізованим концентратом — 42%.

Розроблено рецептури морозива сироваткового на основі концентратів сироватки та розраховано їхній хімічний склад і біологічну цінність. Переваги розроблених рецептур морозива полягають у збільшенні рівня забезпечення білком з 2,95 до 8,3...8,7%, а масової частки сухих речовин — з 25% до 39,61...41,61%, що співвідносно за цими показниками з повножировими аналогами морозива.

Перспектива подальших досліджень полягає в науковому обґрунтуванні складу морозива на основі концентратів сироватки з рівнем забезпечення білка понад 12%, що дасть змогу віднести їх до продуктів, збагачених білком.

Література

- Abbasi, S., Saeedabadian, A. (2015). Influences of lactose hydrolysis of milk and sugar reduction on some physical properties of ice cream. *J Food Sci Technol*, 52, 367—374. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1011-1>.
- Association of Official Analytical Chemists (AOAC). (2016). Official methods of analysis, 20th ed., 4th rev. Pharnabooks: Published by AOAC International, 2(32), 1—43.
- Bobel I., Adamczyk G., Falendysh N. (2022), Nutritional and biological value of mushroom snacks, *Food and Environment Safety*, 21(2), 190—197. DOI: 10.4316/fens.2022.018.
- 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. <https://doi.org/10.3390/nu11030551>.
- Facioni, M. S., Raspini, B., Pivari, F., Dogliotti, E., Cena, H. (2020). Nutritional management of lactose intolerance: the importance of diet and food labelling. *Journal of translational medicine*, 18(1), 1—9.
- Kirk, P. L. (1950). Kjeldahl method for total nitrogen. *Analytical chemistry*, 22(2), 354—358.
- Królczyk, J. B., Dawidziuk, T., Janiszewska-Turak, E., Solowiej, B. (2016). Use of whey and whey preparations in the food industry—a review, *Polish journal of food and nutrition sciences*, 66(3), 157. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2015-0052>.
- Kuzmyk, U., Bass, O., Mykhalevych, A., Osmak, T. (2021). Investigation of the fermentation process of demineralized whey concentrates for ice cream production. *Trends in LEAN food production and packaging: Proceedings of the 10th International Specialized Scientific and Practical Conference, Kyiv: NUFT*, 122—123.
- Litnarovich, R. M. (2011). Construction and research of mathematical model on the sources of experimental data by the methods of regressive analysis. Train aid. IEGU, Rivne, 140.
- Martinez, S. B., Speckman, R. A. (1988). β -galactosidase treatment of frozen dairy product mixes containing whey. *Journal of dairy science*, 71(4), 893—900. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(88\)79635-6](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(88)79635-6).
- 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. <https://doi.org/10.24263/2304-974X-2021-10-2-6>.

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. <https://doi.org/10.4316/fens.2021.002>.

Pomeranz, Y., Meloan, C. E. (1994). *Refractometry and Polarimetry*. In: *Food Analysis*. Springer, Boston, MA. https://doi.org/10.1007/978-1-4615-6998-5_27.

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. <https://doi.org/10.15407/agrisp5.03.033>.

Romulo, A., Meindrawan, B. (2021). Effect of Dairy and Non-Dairy Ingredients on the Physical Characteristic of Ice Cream. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 794(1), 012145.

Silva Junior, E. D., Lannes, S. C. D. S. (2011). Effect of different sweetener blends and fat types on ice cream properties. *Food Science and Technology*, 31, 217—220.

Skryplonek, K., Henriques, M., Gomes, D., Viegas, J., Fonseca, C., Pereira, C., Dmytrów, I., Mituniewicz-Malek, A. (2019). Characteristics of lactose-free frozen yogurt with κ -carrageenan and corn starch as stabilizers. *Journal of Dairy Science*, 102(9), 7838—7848. <https://doi.org/10.3168/jds.2019-16556>.

Sofjan, R. P., Hartel, R. W. (2004). Effects of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. *International Dairy Journal*, 14, 255—262. <http://doi.org/10.1016/j.idairyj.2003.08.005>.

Stadnyk, I., Piddubnuy, V., Kravchenko, M., Rybchuk, L., Balaban, S., Veselovska T. (2021). The effect of dry demineralized whey (ddw) and coconut oil on the rheological characteristics of the legume butter. *Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 15, 318—32. <https://doi.org/10.5219/1578>.

Sychevskiy, M., Romanchuk, I., Minorova, A. (2019). Milk whey processing: prospects in Ukraine. *Food Science and Technology*, 13(4), 58—68. <https://doi.org/10.15673/fst.v13i4.1557>.

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. <https://doi.org/10.1093/advances/nmaa151>.

Young, S. (2007). *Whey products in ice cream and frozen dairy desserts*. Applications Monograph.

Zenebon, O., Pascuet, N. S. (2005). Métodos físico-químicos para análise de alimentos. In *Métodos físico-químicos para análise de alimentos*, 1020.