

УДК 637.344:663.674

## Формування структури низькокалорійного морозива із рослинними складовими


Наріжний С.А.<sup>1</sup> , Білий В.Ю.<sup>1</sup> , Рудакова Т.В.<sup>2</sup> ,

Мінорова А.В.<sup>2</sup> , Вежлівцева С.П.<sup>3</sup> 

<sup>1</sup> Білоцерківський національний аграрний університет

<sup>2</sup> Інститут продовольчих ресурсів НААН, м. Київ

<sup>3</sup> Київський національний торговельно-економічний університет

 Наріжний С.А. E-mail: sergiynarizhnyy@gmail.com



Наріжний С.А., Білий В.Ю., Рудакова Т.В., Мінорова А.В., Вежлівцева С.П. Формування структури низькокалорійного морозива із рослинними складовими. Збірник наукових праць «Технологія виробництва і переробки продукції тваринництва», 2023. № 1. С. 124–131.

Narizhnyy S., Bilyi V., Rudakova T., Minorova A., Vezhlyvtseva S. Formation of the structure of low-calorie ice cream with vegetable ingredients. «Animal Husbandry Products Production and Processing», 2023. № 1. PP. 124–131.

Рукопис отримано: 02.05.2023 р.

Прийнято: 22.05.2023 р.

Затверджено до друку: 25.05.2023 р.

doi: 10.33245/2310-9289-2023-178-1-124-131

Якість морозива залежить від багатьох факторів: сировини, рецептури, умов виробництва та зберігання тощо. Вибір інгредієнтів під час виготовлення морозива має важливе значення, оскільки впливає не тільки на харчову цінність та функціональну спрямованість, а також і на формування структури кінцевого продукту.

Низькокалорійне морозиво за своїм складом та характеристиками найбільше відповідає вимогам до продуктів для здорового харчування. Проте у низькокалорійному морозиві зависока масова частка вологи (приблизно 70 %), внаслідок чого під час заморожування в ньому формуються кристали льоду. Тому для удосконалення органолептичних та реологічних показників низькокалорійного морозива збільшують масову частку сухих речовин застосуванням продуктів переробки молока, зокрема: сухого знежиреного молока (СЗМ) та сироваткових концентратів (концентрат сироваткових білків (КСБ), сироватки сухої демінералізованої (ССД), рослинних (яблучний порошок) інгредієнтів, в тому числі, зернових (рисове та кунжутне борошно), харчових волокон (інулін та ін).

Метою роботи було – дослідження впливу сироваткових концентратів та рослинних інгредієнтів на формування структури низькокалорійного молочного морозива в процесі його виробництва.

У статті представлено результати досліджень дисперсності структурних елементів сумішей низькокалорійного морозива і структурно-механічних властивостей за показниками ефективної в'язкості та енергії активації. Встановлено, що з підвищенням швидкості зсуву відбувається зниження показників ефективної в'язкості в усіх зразках молочних сумішей для морозива. Наявність у складі сумішей для морозива сироваткових та рослинних компонентів сприяє підвищенню коефіцієнта консистенції та енергії активації. Причому у молочній суміші з КСБ та рисовим борошном ці показники у 2,8 разів вищі за показники контролю, який представлений традиційним видом молочного морозива. У результаті вивчення мікроструктури зразків суміші для низькокалорійного морозива встановлено, що після оброблення дослідні зразки низькокалорійного морозива більш насичені повітрям, а, отже, їх збитість вища, у порівнянні з контролем. Показано, що повітряні бульбашки в дослідних зразках – гомогенні і рівномірно розподілені на всій поверхні морозива. При цьому вміст дрібнодисперсних бульбашок повітря у дослідних зразках морозива розмірами від 1 до 30 мкм знаходяться в межах 29–43 %, на відміну від контролю, в якому – 18 %.

Експериментально доведено, що додавання у суміш для морозива сироваткових концентратів і рослинних інгредієнтів з наступним обробленням сприяє утворенню однорідного структурного каркасу з рівномірним розподілом компонентів у готовому продукті. Отримані результати досліджень підтверджують суттєвий вплив в'язкості сумішей на збитість морозива та розміри часточок диспергованого повітря.

**Ключові слова:** низькокалорійне морозиво, суміш для низькокалорійного морозива, сироваткові концентрати, рослинні інгредієнти, реологічні показники, мікроструктура.

**Постановка проблеми та аналіз останніх досліджень.** Морозиво є багатокомпонентною полідисперсною системою, яке складається з безперервного дисперсійного середовища – води та диспергованих у ній дрібних часточок: бульбашок повітря, жирових кульок, кристалів льоду та лактози, шматочків наповнювачів та ін. Жир в морозиві перебуває у вигляді жирових кульок як внутрішня фаза емульсії (за умови рідкого жиру) або суспензії (коли жир кристалізований). Сухий знежирений молочний залишок та стабілізатори перебувають у колоїдному розчині. Цукор, солі та органічні кислоти утворюють істинні розчини [1, 2]. Структура морозива суттєво залежить від фізико-хімічних та органолептичних показників сумішей.

Належна в'язкість сумішей забезпечує необхідну збитість та опір таненню, формує консистенцію готового продукту. В'язкість сумішей зумовлена їх складом (вмістом стабілізатора, білка, жиру, сухих речовин), гідратаційними властивостями білків та стабілізаторів, технологічним обробленням (температурні режими пастеризації, тиск гомогенізації, температура та тривалість визрівання, температурні режими фризрування). З підвищенням в'язкості сумішей опір таненню та кремоподібність структури збільшуються, швидкість збивання зменшується. Тому найголовніше – це правильно збалансувати за складом та відповідним чином обробити суміш для одержання належного за якістю продукту [3]. Збільшення в'язкості суміші сприяє опірності зростанню кристалів льоду. Підвищенню в'язкості сприяє пастеризація за умови дотримання режимів та визрівання суміші, під час якого відбувається набухання білків та стабілізаторів, зв'язування вільної вологи тощо [4].

Значний внесок у розроблення теоретичних та практичних аспектів виробництва морозива та заморожених десертів зробили Г.М. Азов, W.S. Arbuckle, H.D. Goff, R.W. Hartel, Г.М. Дезент, Н.Н. Sommer, R.T. Marshall, Ю.А. Оленів, Г.Є. Поліщук.

Одним із головних чинників у формуванні показників якості морозива є кількість та стан білків молока й рецептурних інгредієнтів. Основна роль білків – емульгувальна, бо частина їх адсорбується на поверхні розділу фаз «жир-плазма» та стабілізує жирові кульки. Крім того, білки підвищують в'язкість сумішей морозива, що позитивно впливає на консистенцію готового продукту. Вміст білків у сумішах повинен бути у межах 3,0–6,5 % [5, 6].

Застосування рослинних інгредієнтів, у тому числі зернових (рисового і кунжутного борошна) та сироваткових концентратів (сухої сироватки демінералізованої і концентрату сироваткових білків), дасть змогу забезпечити вміст низькокалорійного морозива повноцінними білками, вуглеводами, біологічно активними речовинами, покращити його споживчі та функціонально-технологічні властивості [7, 8, 9].

Тому актуальним є проведення досліджень щодо вивчення формування структури низькокалорійного молочного морозива, яке має у своєму складі сироваткові білки та рослинні інгредієнти.

**Метою** роботи було дослідження впливу сироваткових концентратів та рослинних інгредієнтів на формування структури низькокалорійного молочного морозива в процесі його виробництва.

Завданнями досліджень було визначення реологічних показників і вивчення мікроструктури сумішей низькокалорійного морозива залежно від складу.

**Матеріали і методи дослідження.** Предметом досліджень були суміші для низькокалорійного морозива на основі молочної сировини (молоко незбиране та знежирене, вершки, сухе знежирене молоко, масло вершкове) з рослинними інгредієнтами (інулін, рисове та кунжутне борошно, яблучний порошок) та продуктами переробки молока (сухий концентрат сироваткових білків, отриманий методом ультрафільтрації, з масовою часткою білка 80 % та сироватка суха демінералізована з рівнем демінералізації

90 % з масовою часткою білка 27 %). Контролем слугувало низькокалорійне морозиво, отримане традиційним способом.

Реологічні показники сумішей для морозива визначали на ротаційному віскозиметрі «Реотест-2» з використанням вимірювальних циліндрових пристроїв  $S/S_3$  [10, 11]. Вимірювання проводили в режимі «а», який було встановлено експериментально з урахуванням структурно-механічних властивостей дослідних зразків. Вимірювальний циліндр (ротатор)  $S_3$  було обрано з таким розрахунком, щоб градієнтний шар розповсюджувався по всій товщині шару продукту, розташованому в кільцевому проміжку вимірювального пристрою віскозиметра. Для кожного дослідження брали нову порцію продукту та по досягненні заданої температури термостатували її впродовж 20 хвилин.

Вимірювання напруги зсуву  $\tau$  (Па) проводили за дванадцятьма значень градієнту швидкості зсуву  $\dot{\gamma}$  в діапазоні від 0,33 до 145,8  $\text{c}^{-1}$  за прямого та зворотного ходу. Для цього фіксували значення  $\alpha$  за максимального кута відхилення стрілки на шкалі приладу.

Енергію активації (кДж/моль) [12] обчислювали за рівнянням Арреніуса-Френкеля-Ейринга (1):

$$\eta_{\text{еф}} = K \exp(E_a/RT), \quad (1)$$

де  $\eta_{\text{еф}}$  – ефективна в'язкість, Па·с;

$K$  – коефіцієнт консистенції, що пропорційний ефективній в'язкості за одиничного значення швидкості зсуву,  $\text{c}^{-1}$ ;

$E$  – енергія активації, кДж/моль;

$R$  – газова стала ( $R=8,32$  кДж/(кмоль·К));

$T$  – абсолютна температура, К.

Мікроструктуру зразків морозива визначали за допомогою світлового мікроскопу Motic (Fischer Bioblock) з відеокамерою. Тонкий шар зразка морозива наносили на предметне скло та висушували. Спостереження проводили за збільшення у 400 разів [13, 14].

Експериментальні дані обробляли методом математичної статистики [15]. Під час статистичного оброблення коефіцієнт Стьюдента було прийнято  $t_{p,n}=3,18$  оскільки  $n=3$ ,  $P=0,95$ .

**Результати дослідження та обговорення.** Одним із факторів, що впливає на структурно-механічні характеристики сумішей для морозива в процесі їх виробництва, є компонентний склад, який обумовлює стабільність структури морозива. Тому нами було проведено дослідження щодо існування зв'язку між структурно-механічними властивостями сумішей для морозива та його рецептурним складом.

Як контроль використовували суміш для молочного морозива з таким умістом: жиру –

4,0 % та сухих речовин – 29,1 %, в тому числі, цукру – 15,5 %. До складу дослідних зразків сумішей для морозива додавали інулін, а також: 1 – яблучний порошок і ССД; 2 – кунжутне борошно і ССД; 3 – рисове борошно і КСБ.

Порівняння структурно-механічних властивостей зразків сумішей для морозива проводили за показниками *ефективної в'язкості та енергії активації*.

Оскільки основною реологічною характеристикою дисперсних систем є ефективна в'язкість, яка відображає встановлення рівноваги між процесами відновлення і руйнування структури в потоці, основну увагу було приділено встановленню залежності ефективної в'язкості від напруження зсуву та швидкості деформації. Одержані графічні залежності для усіх варіантів продуктів представлено на рисунку 1.

Як видно з рисунку 1, з підвищенням швидкості зсуву відбувається зниження показників в'язкості усіх зразків сумішей для морозива. Причому особливо інтенсивно в'язкість зменшується в діапазоні значень швидкості зсуву від 0,33 до 3,0  $\text{c}^{-1}$ , що, очевидно, пов'язано з руйнуванням структурного каркасу системи [16]. За швидкості деформації понад 3,0  $\text{c}^{-1}$  структура сумішей практично зруйнована і показники в'язкості змінюються несуттєво.

Одержані графічні залежності (рис. 1) можна описати загальним ступеневим рівнянням (2) [11]:

$$\eta_{\text{еф}} = K \cdot \dot{\gamma}^m, \quad (2)$$

де  $\eta_{\text{еф}}$  – ефективна в'язкість, Па·с;

$K$  – коефіцієнт консистенції, який пропорційний ефективній в'язкості за одиничного значення швидкості зсуву,  $\text{c}^{-1}$ ;

$\dot{\gamma}$  – швидкість зсуву,  $\text{c}^{-1}$ ;

$m$  – темп руйнування структури.

Математична обробка дала змогу визначити величину енергії активації ( $E$ ), яку необхідно докласти для переходу частинок дисперсних систем з одного положення рівноваги в інше. Величину коефіцієнтів консистенції ( $K$ ) і темпи руйнування структури ( $m$ ) сумішей для морозива контрольного та дослідних зразків наведено в таблиці 1.

Як свідчать дані, наведені в таблиці 1, наявність у складі сумішей для морозива білкових та рослинних компонентів сприяє підвищенню коефіцієнта консистенції та енергії активації. Так, у суміші з КСБ та рисовим борошном ці показники у 2,8 раза вищі за показники контролю, у зразках сумішей із ССД відрізняється від контролю незначно. Збільшення величин енергії активації дослідних зразків сумішей

для морозива свідчать про структурні перетворення в їх колоїдних системах, які відбуваються, ймовірно, внаслідок утворення додаткових водневих зв'язків [16, 17]. Показники темпу руйнування структури усіх зразків сумішей практично не різняться.

Отже, використання у складі сумішей для морозива КСБ, ССД і рослинних інгредієнтів сприяє підвищенню в'язкості, що може бути пов'язано з гелетвірною здатністю інуліну, сироваткових білків, які мають гідрофільні властивості, високу вологозв'язувальну здатність крохмалю рисового та кунжутного борошна.

Дисперсність структурних елементів морозива визначається, головним чином, їх формою і розмірами: чим вони дрібніші й більш рівномірно розподілені в загальній масі морозива, тим вищою є його якість [18]. Форма і розмір кристалів льоду і повітряних бульбашок суттєво залежать від швидкості заморожування і ступеня механічного впливу на продукт.

Для об'єктивного оцінювання впливу складу сумішей та їх оброблення на консистенцію морозива було досліджено мікроструктуру сумішей для морозива (рис. 2).

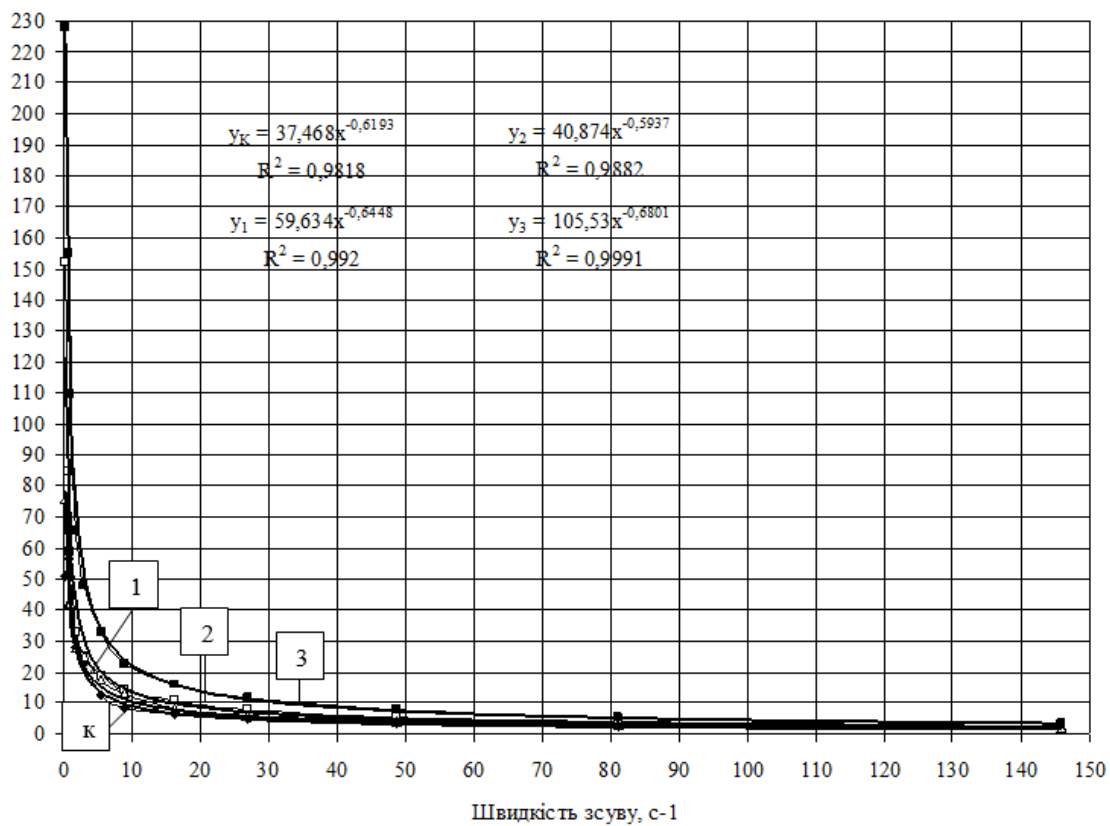
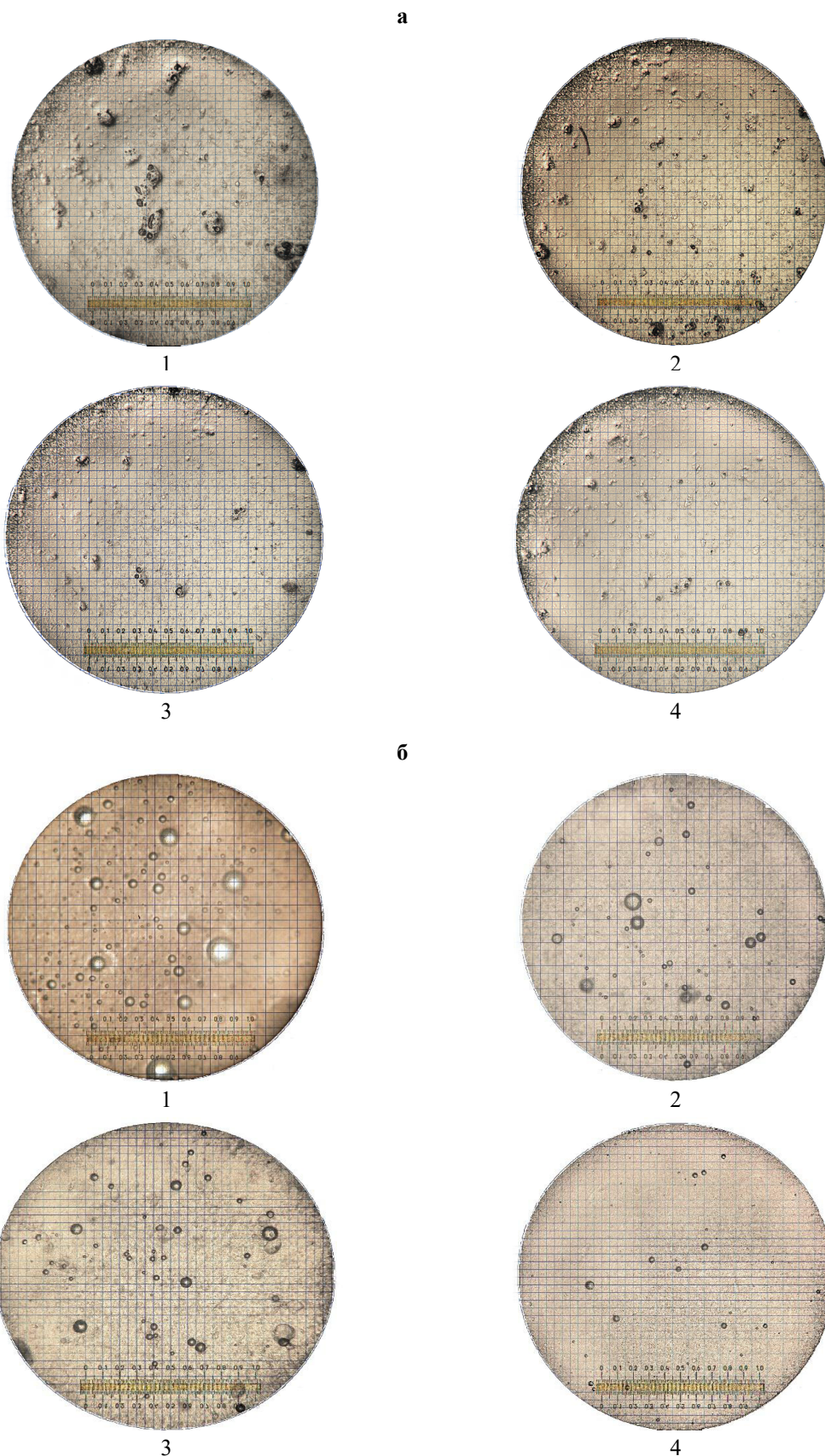


Рис. 1. Реограми сумішей для морозива: К – контроль; 1 – суміш з яблучним порошком і ССД; 2 – суміш з кунжутним борошном і ССД; 3 – суміш з рисовим борошном і КСБ.

Таблиця 1 – Реологічні показники сумішей для морозива (n=3, P=0,95)

Вид суміші для морозива	Темп руйнування (m)	Коефіцієнт консистенції (K), Па·с	Енергія активації (E), кДж/моль
Контроль	0,62	37,47	8,1
Суміш з яблучним порошком і ССД	0,65	59,63	12,5
Суміш з кунжутним борошном і ССД	0,59	40,88	10,4
Суміш з рисовим борошном і КСБ	0,68	105,53	15,2



**Рис. 2. Мікроструктура сумішей для морозива до (а) і після (б) оброблення:**  
1 – контроль; 2 – з яблучним порошком і ССД; 3 – з кунжутним борошном і ССД;  
4 – з рисовим борошном і КСБ.

Дослідження мікроструктури сумішей для морозива контрольного та дослідних зразків (рис. 2) дають змогу зробити висновок, що більш важливу роль у формуванні структури відіграє склад сумішей, ніж їх оброблення. Так, у контрольному зразку до оброблення розміри часточок становлять у середньому 100 мкм (рис. 2 – 1 а), в дослідних – у два рази менше (рис. 2 – 2 а, 3 а, 4 а).

Як видно з рисунку 2 (2б), після оброблення дослідні зразки більш насичені повітрям, а, отже, їх збитість вища у порівнянні з контролем (рис. 2 – 1 б). Повітряні бульбашки в дослідних зразках гомогенні і рівномірно розподілені на всій поверхні морозива (рис. 2). Вміст дрібнодисперсних бульбашок повітря у дослідних зразках морозива (рис. 2 – 2 б, 3 б, 4 б) розмірами від 1 до 30 мкм знаходиться в межах 29–43 %, на відміну від контролю, в якому їх вміст становить всього 18 %. Причому у всіх зразках морозива оболонки повітряних осередків не порушені через зміну концентрації низькомолекулярних речовин в молочній фазі та участі в процесі формування структури фракціонованого молочного жиру.

Слабка стерична стабілізація жирових кулек контрольного зразку морозива через низький вміст сухих речовин у молочній фазі дає змогу рідкій фазі проникнути в простір між ними, утворюючи кластери льоду (рис. 2 – 1 б). У цьому випадку в процесі загартовування з них формуються гранули розміром не більше 10 мкм, але наслідком цього може бути погіршення органолептичних властивостей готового продукту і зниження його стійкості під час зберігання [18, 19].

За результатами дослідження мікроструктури зразків морозива з додаванням рослинних інгредієнтів і сироваткових концентратів можна стверджувати, що існує тенденція до підвищення дисперсності повітряної фази дослідних зразків та зниження цього показника для контрольного зразку. Дані результати підтверджують суттєвий вплив в'язкості сумішей (табл. 1) на збитість морозива та розміри частинок диспергованого повітря.

**Висновки.** Дослідження структурно-механічних показників та мікроструктури низькокалорійного морозива підтверджують обґрунтованість вибору рослинних інгредієнтів та продуктів переробки молока. Так, у суміші з КСБ та рисовим борошном показники коефіцієнта консистенції та енергії активації у 2,8 раза вищі за показники контролю. Доведено, що структура низькокалорійного морозива з сироватковими концентратами та рослинними інгредієнтами є розвиненою просторовою кон-

фігурацією, характерною для зв'язнодисперсних систем, що перешкоджає вільному взаємному переміщенню його ланок, обумовлюючи стабільність структури. При цьому повітряні бульбашки в дослідних зразках морозива гомогенні і рівномірно розподілені на всій поверхні морозива, вміст дрібнодисперсних бульбашок повітря в них, розмірами від 1 до 30 мкм, знаходиться в межах 29–43 %.

#### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Clarke C. The Science of Ice Cream. The Royal Society of Chemistry: Cambridge, UK, 2004. P. 13–59.
2. Маршал Р., Гофф Г., Гартел Р. Мороженое и замороженные десерты/ пер. с англ. В. И. Василевского. Спб.: Профессия, 2005. 376 с.
3. Pon S. Y., Lee W. J., Chong G. Textural and rheological properties of stevia ice cream. *International Food Research Journal*, 2015. 22(4). P. 1544–1549. URL: [http://www.ifrj.upm.edu.my/22%20\(04\)%202015/\(33\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/22%20(04)%202015/(33).pdf).
4. The functional, rheological and sensory characteristics of ice creams with various fat replacers/ O.B. Karaca et al. *Journal Dairy Technology*, 2009. 62. P. 93–99. DOI:10.1111/j.1471-0307.2008.00456.x.
5. Sofjan R. P. The Effects of Whey Protein Concentrates and Different Overrun Levels in Ice Cream. M.S. Thesis. University of Wisconsin, Madison, 2002.
6. Protein composition and technological properties of milk whey concentrates/ A.V. Minorova et al. *Agricultural science and practice*. 4 (2). 2017. P. 52–58.
7. Мінорова А. В., Крушельницька Н. Л. Перспектива використання сухих концентратів сироваткових білків, отриманих методом ультрафільтрації в технологіях дитячого харчування. Дитяче харчування: перспективи розвитку та інноваційні технології: зб. праць за підсумками Другої спеціалізованої наук.-практ. конф., 9 верес. 2014 р., Київ. 2014. С. 69–72.
8. Рудакова Т. В. Технологія виробів сиркових для дитячого харчування з використанням продуктів переробки зерна. *Зернові продукти і комбікорми*. 2015. 2(58). С. 9–14.
9. Романчук І. О., Рудакова Т. В., Моїсеєва Л. О., Гондар О. П. Рисове борошно, як стабілізатор у складі кисломолочних продуктів. *Продовольчі ресурси: зб. наук. пр. /НААН України; Ін-т прод. ресурсів НААН України. К.: Ін-т прод.ресурсів НААН України, 2016. 7. С. 46–52.*
10. Bingham E. Fluidity and Plasticity. McCraw–Hill, 1922. 440 p. URL: <https://archive.org/stream/fluidityplastici00binguoft#page/n13/mode/2up>.
11. Casson N. A Flow Equation for Pigment-Oil Suspensions of the Printing Ink Type. In: Mill C.C., Ed., *Rheology of Disperse Systems*, Pergamon Press, Oxford, 1959. P. 84–104.
12. Structural development in ice cream dynamic rheological measurements/ H. D. Goff et al. *J. Texture Stud.* 1995. 26. P. 517–536.
13. Soukoulis C., Rontogianni E., Tzia C. Contribution of thermal, rheological and physical

measurements to the determination of sensorially perceived quality of ice cream containing bulk sweeteners. *Journal Food Eng.*, 2010. 100. P. 634–641. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2010.05.012.

14. Тимошенко В. С., Тройнін Ю. О., Іванов В. Л. Методи аналізу молока і молочних продуктів у Європейському союзі. Львів. Леонорм, 2002. 248 с.

15. Лисицын В. М., Антоненко Е. С., Величко Д. И. Решение инженерных и экономических задач на ЭВМ. Киев: Вища школа, 1984. 248 с.

16. Freire D. O., Wu B., Hartel R. W. Effects of structural attributes on the rheological properties of ice cream and melted ice cream. *Journal of Food Science*, 2020. 85(11). P. 3885–3898. DOI:10.1111/1750-3841.15486.

17. Dogan M., Kayacier A. The effect of ageing at a low temperature on the rheological properties of Kahramanmaras-type ice cream mix. *International Journal of Food Properties*, 2007. 10(1). P. 19–24. DOI:10.1080/10942910600610729.

18. Bradley R. L. Plotting freezing curves for frozen desserts. *Dairy Rec.* 1984. 7. 86–87. 122 p.

19. Sofjan R., Hartel R. W. Effects of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. *Int. Dairy Journal*, 2004. 14. P. 255–262. DOI:10.1016/j.idairyj.2003.08.005.

#### REFERENCES

1. Clarke, C. (2004). *The Science of Ice Cream*. The Royal Society of Chemistry: Cambridge, UK. pp. 13–59.

2. Marshal, R., Goff, G., Gartel, R. (2005). *Morozhenoe i zamorozhennyye desertyi/ per. s angl. V. I. Vasilevskogo [Ice cream and frozen desserts/Per. from English. V. I. Vasilevsky]*. Spb.: Professiya, 376 p.

3. Pon, S. Y., Lee, W. J., Chong, G. (2015). Textural and rheological properties of stevia ice cream. *International Food Research Journal*, 22(4), pp. 1544–1549. Available at: [http://www.ifrj.upm.edu.my/22%20\(04\)%202015/\(33\).pdf](http://www.ifrj.upm.edu.my/22%20(04)%202015/(33).pdf).

4. Karaca, O. B., Güven, M., Yasar, K., Kaya, S., Kahayoglu, T. (2009). The functional, rheological and sensory characteristics of ice creams with various fat replacers. *Journal Dairy Technology*, 62, pp. 93–99. DOI:10.1111/j.1471-0307.2008.00456.x.

5. Sofjan, R. P. (2020). *The Effects of Whey Protein Concentrates and Different Overrun Levels in Ice Cream*. M.S. Thesis. University of Wisconsin, Madison.

6. Minorova, A. V., Romanchuk, I. O., Zhukova, Ya. F., Krushelnyska, N. L., Vezhlytseva, S. (2017). Protein composition and technological properties of milk whey concentrates. *Agricultural science and practice*. 4 (2), pp. 52–58.

7. Minorova A. V., Krushelnyska N. L. (2014). *Perspektyva vykorystannya suhyh koncentrativ syrovatkovyh bilkiv, otrymanyh metodom ul'trafil'tracii' v tehnologijah dytjachogo harchuvannja [The prospect of using dry whey protein concentrates obtained by the ultrafiltration method in baby nutrition technologies]. Dytjache harchuvannja: perspektyvy rozvytku ta innovacijni tehnologii': zb. prac' za pidsumkamy Drugoi' specializovanoi' nauk.-prakt. konf., 9 veres. 2014 r.,*

Kyiv [Children's nutrition: prospects for development and innovative technologies: coll. theses based on the results of the Second Specialized Science-Pract. conf., September 9 2014, Kyiv]. pp. 69–72.

8. Rudakova, T. V. (2015). *Tekhnolohiya vyrobiv syrkovykh dlya dytyachoho kharchuvannja z vykorystannjam produktiv pererobky zerna [Technology of curd products for baby food using grain processing products]. Zernovi produkty I kombikormy [Cereal products and compound feeds]. 2(58), pp. 9–14.*

9. Romanchuk, I. O., Rudakova, T. V., Moiseyeva, L. O., Hondar, O. P. (2016). *Rysove boroshno, yak stabilizator u skladi kyslomolochnykh produktiv [Rice flour as a stabilizer in the composition of dairy products]. Prodovol'chi resursy: zb. nauk. pr. / NAAN Ukrayiny; In-tprod. resursiv NAAN Ukrayiny. [Food Resources: Coll. Sciences. Ave. / NAAS of Ukraine; Inst. resources of NAAS of Ukraine]. K.: Institute of Production Resources of the National Academy of Sciences of Ukraine, 7, pp. 46–52.*

10. Bingham, E. (1922). *Fluidity and Plasticity*. McCraw-Hill, 440 p. Available at: <https://archive.org/stream/fluidityplasticity00binguoft#page/n13/mode/2.up>.

11. Casson, N. (1959). *A Flow Equation for Pigment-Oil Suspensions of the Printing Ink Type*. In: Mill C.C., Ed., *Rheology of Disperse Systems*, Pergamon Press, Oxford, pp. 84–104.

12. Goff, H. D., Freslon, B., Sahagian, M. E., Hauber, T. D., Stone, A. P., Stanley, D. W. (1995). Structural development in ice cream dynamic rheological measurements. *J. Texture Stud.*, 26, pp. 517–536.

13. Soukoulis C., Rontogianni E., Tzia C. (2010). Contribution of thermal, rheological and physical measurement to the determination of sensorially perceived quality of ice cream containing bulk sweeteners. *Journal Food Eng.* 100, pp. 634–641. DOI:10.1016/j.jfoodeng.2010.05.012.

14. Tymoshenko, V. S., Troynin, Yu. O., Ivanov, V. L. (2002). *Metody analizu moloka i molochnykh produktiv u Jevropejs'komu sojuzi [Methods of analysis of milk and dairy products in the European Union]*. Lviv. Leonorme, 248 p.

15. Lisicin, V. M., Antonenko, E. S., Velichko, D. I. (1984). *Reshene inzhenernyh i jekonomicheskikh zadach na JeVM [Solving engineering and economic problems on a computer]*. Kyiv: Higher School, 248 p.

16. Freire, D. O., Wu, B., Hartel, R. W. (2020). Effects of structural attributes on the rheological properties of ice cream and melted ice cream. *Journal of Food Science*, 85(11), pp. 3885–3898. DOI:10.1111/1750-3841.15486.

17. Dogan, M., Kayacier, A. (2007). The effect of ageing at a low temperature on the rheological properties of Kahramanmaras-type ice cream mix. *International Journal of Food Properties*, 10(1), pp. 19–24. DOI:10.1080/10942910600610729.

18. Bradley, R. L. (1984). Plotting freezing curves for frozen desserts. *Dairy Rec.* 7, 86–87, 122 p.

19. Sofjan, R., Hartel, R. W. (2004). Effects of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. *Int. Dairy Journal*, 14, pp. 255–262. DOI:10.1016/j.idairyj.2003.08.005.

### Formation of the structure of low-calorie ice cream with vegetable ingredients

Narizhnyy S., Bilyi V., Rudakova T., Minorova A., Vezhlyvtseva S.

The quality of ice cream depends on many factors: raw materials, recipe, production and storage conditions, etc. The choice of ingredients during the manufacture of ice cream is an important factor that not only affects the nutritional value and functional orientation, but also the formation of the structure of the final product.

Low-calorie ice cream, in terms of its composition and characteristics, best meets the requirements for healthy food products. However, in low-calorie ice cream, the mass fraction of moisture is too high (about 70 %), as a result of which noticeable ice crystals form in it during freezing. Therefore, in order to improve the organoleptic and rheological indicators of low-calorie ice cream, it is necessary to increase the mass fraction of dry substances by using milk processing products, namely, skimmed milk powder (SMP) and whey concentrates (whey protein concentrate (WPC), dry demineralized whey (DWW), vegetable (apple powder) ingredients, including grain (rice and sesame flour), dietary fibers (inulin, etc.).

The purpose of the work was to study the influence of whey concentrates and plant ingredients on the formation of the structure of low-calorie milk ice cream during its production.

The article presents the results of research on the dispersion of structural elements of low-calorie ice cream mixtures and structural-mechanical properties

based on indicators of effective viscosity and activation energy. It was established that with an increase in the shear rate, there is a decrease in the effective viscosity indicators in all samples of milk mixtures for ice cream. The presence of whey and vegetable components in ice cream mixtures helps to increase the consistency coefficient and activation energy. Moreover, in the milk mixture with WPC and rice flour, these indicators are 2.8 times higher than the indicators of the control, which is represented by a traditional type of milk ice cream. As a result of the study of the microstructure of the low-calorie mixture samples, it was established that after processing, the low-calorie ice cream test samples are more saturated with air, and, therefore, their whippedness is higher compared to the control. It is shown that the air bubbles in the experimental samples are homogeneous and evenly distributed over the entire surface of the ice cream. At the same time, the content of finely dispersed air bubbles in experimental ice cream samples with sizes from 1 to 30 microns is in the range of 29-43 %, in contrast to the control, in which it is 18 %.

It has been experimentally proven that the addition of whey concentrates and vegetable ingredients to the ice cream mixture followed by processing contributes to the formation of a homogeneous structural frame with an even distribution of components in the finished product. The obtained research results confirm the significant influence of the viscosity of the mixtures on the whipping of ice cream and the size of dispersed air particles.

**Key words:** low-calorie ice cream, mixture for low-calorie ice cream, whey concentrates, vegetable ingredients, rheological indicators, microstructure.



Copyright: Наріжний С.А. та ін. © This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original author and source are credited.



ORCID iD:

Наріжний С.А.

Білий В.Ю.

Рудакова Т.В.

Мінорова А.В.

Везлівцева С.П.

<https://orcid.org/0000-0001-5478-3221>

<https://orcid.org/0000-0001-7074-7546>

<https://orcid.org/0000-0002-7017-735X>

<https://orcid.org/0000-0002-7557-1444>

<https://orcid.org/0000-0003-4000-7314>