



Научная статья
4.3.3. – Пищевые системы (технические науки)
УДК 637.07

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.012

EDN: CDTVZD

СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ ОБЕЗЖИРЕННОГО СУХОГО МОЛОКА, КОНЦЕНТРАТА СЫВОРОТОЧНОГО БЕЛКА И МИКРОПАРТИКУЛЯТА СЫВОРОТОЧНОГО БЕЛКА НА КАЧЕСТВО МОРОЖЕНОГО

Игорь Алексеевич Гурский

Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности – Филиал Федерального научного центра пищевых систем им. В.М. Горбатова, Москва, Россия
iixrug@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8177-3472>

Аннотация. Цель исследования – изучение влияния на показатели качества молочного мороженого, взаимодействие сухого обезжиренного молока (СОМ), концентрата сывороточного белка (КСБ) и микропартитулята сывороточного белка (МСБ). Задачи: изготовить опытные партии исследуемых образцов молочного мороженого с различным соотношением СОМ, КСБ, МСБ и провести комплексное исследование наиболее значимых показателей качества. Объектом исследования являлись образцы молочного мороженого. Совместное использование СОМ, КСБ и МСБ повлияло на взбитость, температуру замерзания, термостойкость, размер микроструктурных элементов молочного мороженого. Результаты показали, что при использовании КСБ и МСБ вместо СОМ взбитость снизилась с 92 ± 5 до 63 ± 7 %. Температура замерзания выросла с $-2,4$ до $-1,6$ °С, размеры микроструктурных элементов увеличились с 25 до 44 мкм (пузырьки воздуха) и с 29 до 41 мкм (кристаллы льда), время падения первой капли увеличилось с 25 до 62 мин. Совместное применение СОМ с КСБ и МСБ оказало положительное влияние на дисперсность микроструктурных элементов и характеристики плавления мороженого. Результаты исследований подтвердили, что создание композиций на основе СОМ, КСБ и МСБ позволяет достичь технологически необходимых показателей качества молочного мороженого и одновременно повысить содержание белка в готовом продукте.

Ключевые слова: температура замерзания, скорость плавления, пузырьки воздуха, кристаллы льда.

Благодарности: статья подготовлена в рамках выполнения исследований по Государственному заданию ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН

Для цитирования: Гурский И. А. Совместное влияние обезжиренного сухого молока, концентрата сывороточного белка и микропартитулята сывороточного белка на качество мороженого // Ползуновский вестник. 2026. № 1, С. 73–78. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2026.01.012. EDN: <https://elibrary.ru/CDTVZD>.

Original article

COMBINED EFFECT OF NONFAT DRY MILK, WHEY PROTEIN CONCENTRATE AND WHEY PROTEIN MICROPARTICLES ON ICE CREAM QUALITY

Igor A. Gurskiy

All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry - Branch of V. M. Gorbato Federal Research Center for Food Systems, Moscow, Russia
iixrug@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-8177-3472>

Abstract. The purpose of the study is the research of the interaction effect of nonfat dry milk (NFDM)/ whey protein concentrate (WPC)/ microparticulated of whey protein (MWP) on quality indicators of low-fat milk ice cream. Objectives: to produce pilot batches of the investigated samples of low-fat milk ice cream with different proportion NFDM, WPC, MWP and to conduct a set of studies of the most significant quality indicators. The samples of the low-fat milk ice cream were the object of the study. The joint usage of NFDM, WPC and MWP mixture effected viscosity, overrun, freezing point, melting properties, size of microstructural elements of milk ice cream. The results showed that the usage of WPC and MWP instead of NFDM decreased the overrun from 92 ± 5 to 63 ± 7 %. The freezing point increased from -2.4 to -1.6 °C, the sizes of microstructural elements increased from 25 to 44 μ (air cells) and from 29 to 41 μ (ice crystals), and the first dripping time increased from 25 to 62 min, respectively. The joint application of NFDM with WPC and MWP affected positively the dispersion of microstructural elements and improved melting characteristics. The research results confirmed that the formulation of compositions based on NFDM, WPC, and MWP makes it possible to achieve the technologically required quality parameters of low-fat ice cream while simultaneously increasing the protein content in the final product.

© Гурский И. А., 2026

Keywords: Freezing point, viscosity, melting rate, air cells, ice crystals.

Acknowledgements: the article was written in the framework of research under the State task of the Federal State Budgetary Scientific Institution "V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems" RAS.

For citation: Gurskiy, I. A. (2021). Combined effect of nonfat dry milk, whey protein concentrate and whey protein microparticles on ice cream quality. *Polzunovskiy vestnik*, (1), 73-78. (In Russ). doi: 10/25712/ASTU.2072-8921.2026.01.012. EDN: <https://elibrary.ru/CDTVZD>.

ВВЕДЕНИЕ

Мороженое – многофазный молочный составной продукт, содержащий кристаллы льда, воздушные пузырьки, жировые шарики и незамороженную сывороточную фазу (около 10–20 %) [1]. Мороженое является одним из самых популярных среди потребителей замороженным десертом, поэтому совершенствование его состава и исследование влияния различных компонентов смеси на его качество является актуальной задачей. В последние годы среди потребителей увеличился спрос на мороженое с высоким содержанием белка, который является необходимым нутриентом для физиологических функций организма. В мороженом чаще всего белок состоит из казеина и сывороточного белка в количестве 1,7–4,7 % в зависимости от состава рецептуры [2]. Помимо физиологической функции, белок обладает технологическими свойствами, которые позволяют целенаправленно влиять на показатели качества мороженого.

Основными источниками белка в мороженом являются такие молочные компоненты, как цельное молоко и сухое обезжиренное молоко (СОМ), с которыми в мороженое вносят белка не более 3,7 %. Самый распространенный способ увеличения содержания белка в мороженом – применение различных белковых концентратов и изолятов. Количество и источник белка влияют не только на биологическую ценность мороженого, но и на его качество. При нагревании в процессе пастеризации смеси мороженого часть сывороточных белков связывается с казеином на поверхности мицелл, что может увеличивать вязкость [3]. Белки молока обладают поверхностной активностью, которая влияет на поверхностное натяжение на границе раздела фаз, что в результате влияет на образование и дальнейшую стабилизацию воздушной фазы во взбитых замороженных продуктах [4]. Кроме того, частично денатурированные белки формируют трехмерную сеть, обладающую влагоудерживающей способностью за счет водородных связей с полярными группами, что в дальнейшем позволяет удерживать незамороженную сывороточную фазу [5]. Особенно это свойство проявляется у сывороточного белка.

Концентраты сывороточных белков (КСБ) используют чаще других компонентов. Это связано с их функциональными свойствами, описанными Patel [6], а также рядом физико-химических свойств. КСБ при совместном использовании с казеиновыми белками увеличивают вязкость смеси [7], уменьшают способность к насыщению воздухом [8], улучшают характеристики плавления, такие как скорость плавления и время падения первой капли [9], а также сенсорные свойства, такие как ощущение холода, общая и кристаллическая текстура [10]. Чаще КСБ дополнительно вводят к СОМ или частично заменяют его в количестве 1–4 % [9, 7]. Реже встречаются варианты полной замены СОМ на белковые концентраты [11, 7].

Исследования по применению микропартитулатов сывороточных белков (МСБ) в производстве мороженого не столь распространены. Отличием МСБ от КСБ является повышенная термостабильность [12]

и улучшенные эмульгирующие и гелеобразующие свойства [13]. При нейтральном pH, характерном для традиционных видов мороженого, МСБ образуют гель с прочными и эластичными свойствами [14]. Эти свойства могут повысить качество мороженого. Результаты, полученные Hossain и др., о влиянии МСБ на качество молочных продуктов показали улучшение их свойств [15, 16]. В ранее проведенных исследованиях не изучалось совместное применение КСБ и МСБ, влияние МСБ на физические и микроструктурные свойства мороженого, а также его использование с СОМ.

Результаты аналитического обзора показали, что исследований по влиянию МСБ на показатели качества мороженого недостаточно, по их совместному применению с КСБ и СОМ практически нет. Таким образом, цель исследования – изучение влияния на показатели качества молочного мороженого взаимодействия СОМ, КСБ и МСБ. Задачи: изготовить опытные партии исследуемых образцов молочного мороженого с различным соотношением СОМ, КСБ, МСБ и провести комплексное исследование наиболее значимых показателей качества.

МЕТОДЫ

Объектами исследования данной работы являются образцы мороженого с различным соотношением СОМ, КСБ (массовая доля белка 80,2 %) (Млековита, Польша) и МСБ (массовая доля белков 61,7 %, углеводов 25,0 %) (Молочная компания ставропольский, Россия).

Для изготовления 1000 г мороженого по рецептуре использовали сахар (150 г), сухие молочные компоненты (100 г) в соотношении, указанном на рисунке 1, комплексную пищевую добавку, включающую эмульгатор и стабилизатор (6,5 г), сливочное масло (60 г) и воду (683,5 г).

Температуру замерзания определяли на криоскопосометре ОСКР-1 («КИВИ Осмометрия», Россия).

Титруемую кислотность (°Т) определяли титрованием 0,1 н раствором NaOH с индикатором фенолфталеин.

Скорость плавления образцов мороженого определяли, помещая их на стальную сетку с размером ячеек 0,5x0,5 мм при температуре 20 °С по Soukoulis и др. [17]. Записывали время падения первой капли тающего мороженого. Массу тающего мороженого фиксировали каждые 10 минут в течение 3 часов для определения скорости таяния, рассчитываемой как изменение массовой доли во времени, в %/мин.

Взбитость рассчитывали по массе одного и того же объема смеси и мороженого по Goff и Hartel [18] по уравнению:

$$\% \text{Взбитость} = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100,$$

где M1 и M2 – масса смеси и мороженого соответственно.

Воздушные пузырьки и кристаллы льда измеряли с помощью микроскопа CX41RF (OLYMPUS, Япония). Диаметр воздушных пузырьков определялся автоматически с помощью программы, описанной в работе [19]; размеры кристаллов льда определяли с

СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ ОБЕЗЖИРЕННОГО СУХОГО МОЛОКА, КОНЦЕНТРАТА СЫВОРОТОЧНОГО БЕЛКА И МИКРОПАРТИКУЛЯТА СЫВОРОТОЧНОГО БЕЛКА НА КАЧЕСТВО МОРОЖЕНОГО

помощью программы Image Scope M. Подготовку образцов к анализу проводили согласно методике, описанной в работе [20].

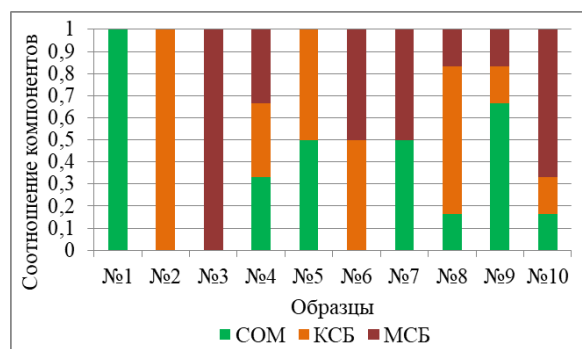


Рисунок 1 – Содержание COM, КСБ и МСБ в образцах мороженого

Figure 1 – Proportions of NFDM, WPC and MWP in ice cream samples

Для построения графиков зависимости показателей качества от содержания COM, КСБ и МСБ использовали следующее уравнение:

$$y = \alpha_1 x_1 + \alpha_2 x_2 + \alpha_3 x_3 + \alpha_{12} x_1 x_2 + \alpha_{13} x_1 x_3 + \alpha_{23} x_2 x_3 + \alpha_{123} x_1 x_2 x_3$$

где y – зависимая переменная (температура заморозки, титруемая кислотность, взбитость, скорость плавления,

время падения первой капли, диаметр воздушных пузырьков и размер кристаллов льда); $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_{12}, \alpha_{13}, \alpha_{23}$ и α_{123} – коэффициенты уравнения в зависимости от содержания COM (X_1), КСБ (X_2) и МСБ (X_3). Результаты анализировали с помощью RStudio (RStudio PBC, США). Измерения проводили в 3 повторениях. Результаты были представлены как среднее арифметическое $\pm$ стандартное отклонение (SD).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице 1 показаны результаты исследований мороженого. Содержание COM, КСБ и МСБ в смесях для мороженого с разным соотношением оказывало существенное влияние ($P < 0,01$) на температуру заморозки и титруемую кислотность. В смесях для мороженого на температуру заморозки установлено значимое влияние отдельных компонентов (КСБ, COM и МСБ) ($P < 0,001$) и их композиций (COM-КСБ-МСБ) ($P < 0,05$). На показатели титруемой кислотности (таблица 2) оказали значимое влияние КСБ, COM и МСБ ($P < 0,001$), а также их композиции из двух компонентов (COM-КСБ; COM-МСБ; КСБ-МСБ) ($P < 0,01$). На рисунке 2, а можно наблюдать, что при замене COM более 50 % температура заморозки мороженого выше -2°C . Самые низкие значения температуры заморозки были определены в образце, содержащем только COM. Замена COM или МСБ на КСБ повышало титруемую кислотность в образцах мороженого при его содержании более 25 % (рис. 2б).

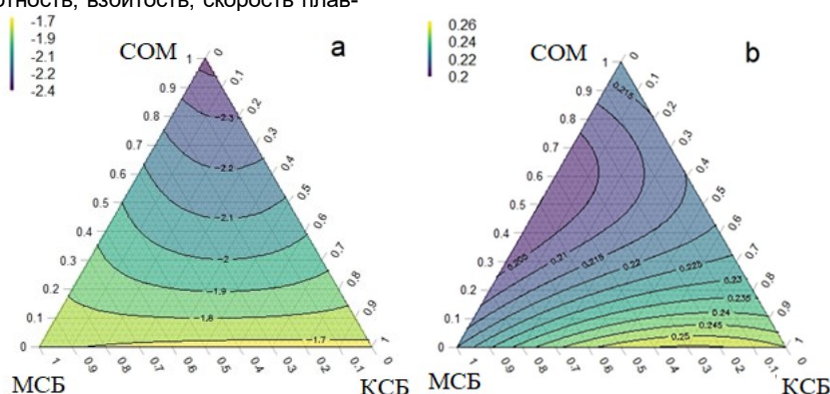


Рисунок 2 – Зависимости (а) температуры заморозки и (б) титруемой кислотности смесей для мороженого с использованием COM, КСБ и МСБ

Figure 2 – Dependence of (a) freezing point and (b) titratable acidity in mixtures with NFDM, WPC and MWP

Таблица 1 – Результаты исследований мороженого и смеси с COM, КСБ и МСБ.

Table 1 – Results of the study on ice cream and mixtures with NFDM, WPC, and MWP.

Образец	ΔT_f ($^\circ\text{C}$)	ТК ($^\circ\text{T}$)	Взбитость (%)	Падение первой капли (мин)	Скорость таяния (%/мин)	Пузырьки воздуха (мкм)	Кристаллы льда (мкм)
1	-2.44 ± 0.02	22.7 ± 0.6	92 ± 5	25	1.16	25 ± 1	29 ± 1
2	-1.64 ± 0.01	25.3 ± 1.2	67 ± 4	57	0.81	42 ± 1	35 ± 1
3	-1.75 ± 0.01	21.7 ± 0.6	51 ± 2	44	1.03	33 ± 3	41 ± 1
4	-2.01 ± 0.02	23.0 ± 1.0	67 ± 2	48	1.20	29 ± 1	36 ± 2
5	-2.05 ± 0.01	22.3 ± 0.6	67 ± 5	42	1.08	31 ± 1	32 ± 2
6	-1.66 ± 0.01	24.3 ± 1.2	67 ± 4	52	1.13	34 ± 1	36 ± 1
7	-2.03 ± 0.01	21.0 ± 1.0	58 ± 4	50	1.11	30 ± 1	33 ± 1
8	-1.98 ± 0.03	22.3 ± 1.2	57 ± 2	62	1.01	34 ± 3	35 ± 1
9	-2.19 ± 0.01	19.7 ± 0.6	67 ± 2	44	1.12	24 ± 3	34 ± 1
10	-1.77 ± 0.02	21.7 ± 1.2	63 ± 2	54	0.97	27 ± 1	38 ± 1

ΔT_f – температура заморозки; ТК – титруемая кислотность

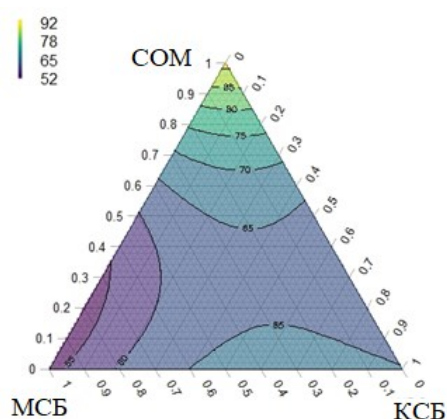


Рисунок 3 – Зависимость взбитости мороженого от содержания COM, КСБ и МСБ

Figure 3 – Dependence of overrun in ice cream with NFDM, WPC and MWP

Результаты исследования показали значимое влияние компонентов смесей (КСБ, COM и МСБ) ($P < 0,001$), и их композиций (COM-КСБ; COM-МСБ) ($P < 0,01$) на взбитость. Взбитость при использовании COM по сравнению с КСБ и МСБ была выше. При

замене COM более чем на 20 % сывороточными белками взбитость снизилась в 1,8–1,4 раза (рисунок 3), несмотря на то, что КСБ характеризуется более высокой пенообразующей способностью, чем белки COM.

При исследовании термоустойчивости было установлено значительное влияние ($P < 0,01$) КСБ, COM и МСБ на время падения первой капли. Оно увеличивалось при использовании сывороточного белка, что показано в таблице 1. На рисунке 4, а кривая отклика демонстрирует значительное увеличение исследуемого показателя при использовании КСБ более 50 %.

Также КСБ, COM и МСБ оказали значительное влияние ($P < 0,05$) на скорость плавления. Кривая отклика на рисунке 4, б продемонстрировала более низкую скорость плавления мороженого при содержании более 75 % КСБ.

Средние размеры пузырьков воздуха находились в диапазоне от 24 до 42 мкм, как показано в таблице 1. COM, КСБ и МСБ оказали значительное влияние ($P < 0,001$) на дисперсность воздушной фазы. На рисунке 5, а кривая отклика показала меньший размер пузырьков воздуха в образцах с COM. Самые высокие значения среднего размера были определены при использовании КСБ.

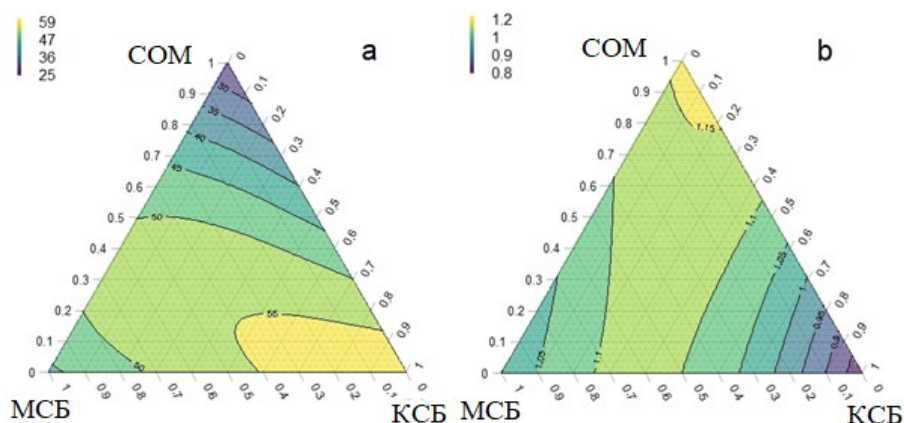


Рисунок 4 – Зависимости (а) времени первого падения и (б) скорости плавления для мороженого с использованием COM, КСБ и МСБ

Figure 4 – Dependence of (a) time to first dripping and (b) melting rate in ice cream with NFDM, WPC and MWP

Средние размеры кристаллов льда находились в диапазоне от 29 до 41 мкм (таблица 1). COM, КСБ и МСБ оказали значительное влияние ($P < 0,001$) на этот показатель. Также было установлено значительное влия-

ние совместного применения (КСБ-МСБ) ($P < 0,05$) и (COM-КСБ-МСБ) ($P < 0,01$) на кристаллы льда. Более высокое значение среднего размера кристаллов льда было определено при использовании МСБ.

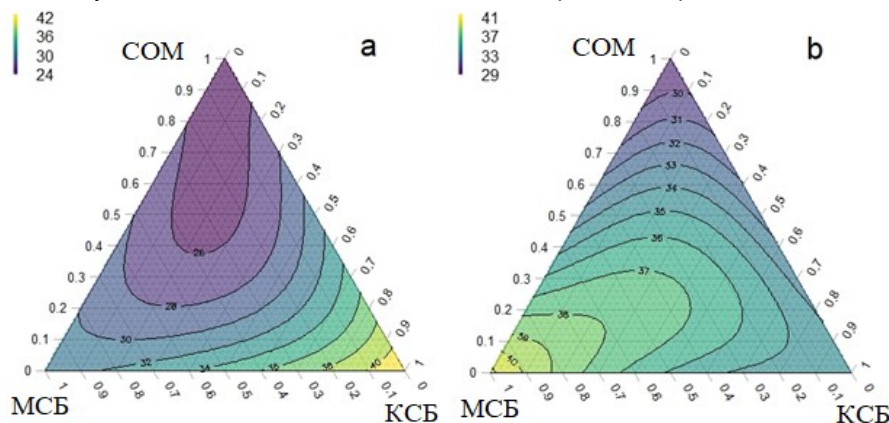


Рисунок 5 – Зависимость средних размеров (а) воздушных ячеек и (б) кристаллов льда в мороженом с COM, КСБ и МСБ
Figure 5 – Dependence of average sizes of (a) air cells and (b) ice crystals in ice cream with NFDM, WPC, and MWP

СОВМЕСТНОЕ ВЛИЯНИЕ ОБЕЗЖИРЕННОГО СУХОГО МОЛОКА, КОНЦЕНТРАТА СЫВОРОТОЧНОГО БЕЛКА И МИКРОПАРТИКУЛЯТА СЫВОРОТОЧНОГО БЕЛКА НА КАЧЕСТВО МОРОЖЕНОГО

ОБСУЖДЕНИЕ

Увеличение температуры заморозания было вызвано различным количеством лактозы и минеральных веществ в КСБ и МСБ по сравнению с СОМ. Более высокие значения титруемой кислотности при использовании КСБ по сравнению с другими компонентами может быть связано с большим количеством кислых аминокислот, таких как аспарагин и глутамин. Полученные результаты коррелируют с данными более ранних исследований, полученными Твороговой и др. [20].

Понижение взбитости связано со снижением содержания казеина, который по сравнению с сывоточными белками более прочно стабилизирует пену при замораживании смеси. Кроме того, низкая взбитость может быть результатом более длительного времени взбивания из-за более низкой температуры заморозания, что установили Muse и Hartel [21]. Полученные данные свидетельствуют о том, что механизмы стабилизации пены КСБ и МСБ различны, а их комбинация позволяет частично компенсировать недостатки каждого из компонентов.

Низкая скорость плавления, как и время падения первой капли, связаны с количеством белка, которое увеличивается при использовании КСБ и МСБ, а также их влагоудерживающей способностью, что ранее установили Daw и Hartel [11].

Различия размеров пузырьков воздуха между образцами могут свидетельствовать о том, что сывоточный белок обладает меньшей способностью к стабилизации воздушной фазы, чем казеин СОМа. Результаты, полученные Marinova и соавторами в исследовании влияния казеината натрия и концентратов сывоточного белка на стабильность пены, подтверждают это [22]. Различие в среднем размере воздушных ячеек КСБ и МСБ можно объяснить механизмом стабилизации пены. Микрочастицы МСБ размером в несколько микрон могут прикрепляться к поверхности пузырьков воздуха и стабилизировать их, образуя монослой в соответствии с механизмом Пикеринга [23, 24].

Увеличение кристаллов льда при использовании МСБ может быть связано с его составом, повлиявшим на криоскопическую температуру. Образец с более низкой криоскопической температурой будет содержать меньше вымороженной воды. Наличие большего количества жидкой фазы интенсифицирует процессы рекристаллизации, что приводит к дополнительному росту кристаллов льда на этапах закаливания и хранения. Поскольку размер кристаллов льда определяется не только криоскопической температурой, но и кинетикой рекристаллизации в незамёрзшей фазе, выявленное взаимодействие может быть связано с различной адсорбцией белков на поверхности кристаллов, а также изменением реологических свойств жидкой фазы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований осуществлен сравнительный анализ влияния КСБ и МСБ на комплекс технологических показателей мороженого в составе с СОМ. Установлено, что замена СОМ на концентраты и микропартикулят сывоточных белков приводит к заметному повышению температуры заморозания, способности смеси к насыщению воздухом и дисперсности кристаллов льда, а также оказывает положительное влияние на термостойкость готового продукта. Выявлены значимые эффекты взаимодействия исследуемых компонентов на показатели качества мороженого, что свидетельствует об их существенном взаимовлиянии и требует комплексного подхода при разработке рецептур. Совместное использование СОМ, КСБ и МСБ позволяет получить продукт со сбалансированными микроструктурными характеристиками и свойствами плавления, что открывает перспективы для создания высокобелкового мороженого с улучшенными технологическими показателями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ландиховская А.В., Творогова А.А. Нутриентный состав мороженого и замороженных десертов: современные

направления исследований // Пищевые системы. 2021. Т. 4, № 2. С. 74–81. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-74-81>.

2. Dynamic Concerns of Protein Ice-Cream: An Analysis / B. Shafique [et al.] // *Acta Scientifci Nutritional Health*. 2019. Vol. 3, Iss. 11. P. 73–78. <https://doi.org/10.31080/asnh.2019.03.0490>.

3. Quality attributes of high protein ice cream prepared by incorporation of whey protein isolate / S. Roy [et al.] // *Applied Food Research*. 2021. Vol. 2, Iss. 1. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100029>.

4. Whitnah C.H. The Surface Tension of Milk. A Review // *Journal of Dairy Science*. 1959. Vol. 42, Iss. 9. P. 1437–1449. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(59\)90760-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(59)90760-X).

5. Singh H. Functional Properties of Milk Proteins // *Reference Module in Food Science*. 2016. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00934-3>.

6. Patel S. Functional food relevance of whey protein: A review of recent findings and scopes ahead // *Journal of Functional Foods*. 2015. Vol. 19. P. 308–319. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.040>.

7. Effect of Incorporating Whey Protein Concentrate on Chemical, Rheological and Textural Properties of Ice Cream / El-Zeini Hoda M. [et al.] // *Journal of Food Processing & Technology*. 2016. Vol. 7, Iss. 2. <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7110.1000546>.

8. Moschopoulou E., Demikos D., Zoidou E. Ovine ice cream made with addition of whey protein concentrates of ovine caprine origin / *International Dairy Journal*. 2021. Vol. 122. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105146>.

9. Danesh E., Goudarzi M., Jooyandeh H. Short communication: Effect of whey protein addition and transglutaminase treatment on the physical and sensory properties of reduced-fat ice cream / *Journal of dairy science*. 2017. Vol. 100, Iss. 7. P. 5206–5211. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12537>.

10. Patel M.R., Baer R.J., Acharya M.R. Increasing the protein content of ice cream / *Journal of dairy science*. 2006. Vol. 89, Iss. 5. P. 1400–1406. <https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302%2806%2972208-1>.

11. Daw E., Hartel R.W. Fat destabilization and melt-down of ice creams with increased protein content / *International Dairy Journal*. 2015. Vol. 43, P. 33–41. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.12.001>.

12. Dissanayake M., Liyanaarachchi S., Vasiljevic T. Functional properties of whey proteins microparticulated at low pH / *Journal of dairy science*. 2012. Vol. 95, Iss. 4. P. 1667–1679. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4823>.

13. Dissanayake M., Vasiljevic T. Functional properties of whey proteins affected by heat treatment and hydrodynamic high-pressure shearing / *Journal of dairy science*. 2009. Vol. 92, Iss. 4. P. 1387–1397. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1791>.

14. Havea P., Watkinson P.J., Kuhn-Sherlock B. Heat-induced whey protein gels: protein-protein interactions and functional properties / *Journal of agricultural and food chemistry*. 2009. Vol. 57, Iss. 4. P. 1506–1512. <https://doi.org/10.1021/jf802559z>.

15. The impact of extruded microparticulated whey proteins in reduced-fat, plain-type stirred yogurt: Characterization of physicochemical and sensory properties / Hossain M.K. [et al.] // *Lwt – Food Science and Technology*. 2020. Vol. 134. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109976>.

16. Microstructure and Physicochemical Properties of Light Ice Cream: Effects of Extruded Microparticulated Whey Proteins and Process Design / Hossain M.K. [et al.] // *Foods*. 2021. Vol. 10, Iss. 6. <https://doi.org/10.3390/foods10061433>.

17. Soukoulis C., Chandrinos I., Tzia C. Study of the functionality of selected hydrocolloids and their blends with κ-carrageenan on storage quality of vanilla ice cream / *Lwt – Food Science and Technology*. 2008. Vol. 41, Iss. 10. P. 1816–1827. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.12.009>.

18. Goff H.D., Hartel R.W. *Ice Cream*. Boston: Springer, 2013. 462 p.

19. Королев И.А. Автоматизированное определение дисперсности воздушной фазы в мороженом с применением методов машинного обучения / *Техника и технология пищевых производств*. 2023. Т. 53. № 3. С. 455–464. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2448>.

20. Effect of Protein Concentrates and Isolates on the

Rheological, Structural, Thermal and Sensory Properties of Ice Cream / Tvorogova A. A. [et al.] // *Current Research in Nutrition and Food Science*. 2023. Vol. 11, Iss.1. P. 294-306. <http://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.11.1.22>.

21. Muse M.R., Hartel R.W. Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness / *Journal Dairy Science*. 2004. Vol. 87, Iss.1. P. 1-10. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73135-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73135-5).

22. Physico-chemical factors controlling the foamability and foam stability of milk proteins: Sodium caseinate and whey protein concentrates / Marinova K.G. [et al.] // *Food Hydrocolloids*. 2009. Vol. 23. P. 1864-1876. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2009.03.003>.

23. Foaming properties of heat-aggregated microparticles from whey proteins / Grossmann L. [et al.] // *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2019. Vol. 579. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.06.037>.

24. Coşkun A.E., Ocak Ö. Foaming behavior of colloidal whey protein isolate micro-particle dispersions / *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 2021. Vol. 609. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFA.2020.125660>.

Информация об авторах

И. А. Гурский – кандидат технических наук, младший научный сотрудник лаборатории технологии мороженого ВНИХИ – филиала ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН.

REFERENCES

1. Landikhovskaya, A.V., Tvorogova, A.A. (2021). Ice cream and frozen desserts nutrient compositions: current trends of researches. *Food systems*, 4(2), 74-81. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-74-81>.

2. Shafique, B., Mahmood, S., Alam, M.Q. & Saeed, W. (2019). Dynamic Concerns of Protein Ice-Cream: An Analysis. *Acta Scientifi Nutritional Health*, 3(11), 73-78. <https://doi.org/10.31080/asnh.2019.03.0490>.

3. Roy, S., Hussain, S.A., Prasad, W.G. & Kheta, Y. (2021). Quality attributes of high protein ice cream prepared by incorporation of whey protein isolate. *Applied Food Research*, 2(1). <https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100029>.

4. Whitnah, C.H. (1959). The Surface Tension of Milk. A Review. *Journal of Dairy Science*, 42(9), 1437-1449. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(59\)90760-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(59)90760-X).

5. Singh, H. (2015). Functional Properties of Milk Proteins. *Reference Module in Food Science*, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.00934-3>.

6. Patel, S. (2015). Functional food relevance of whey protein: A review of recent findings and scopes ahead. *Journal of Functional Foods*, 19, 308-319. <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.09.040>.

7. El-Zein-Hoda, M., Moneir El-Abd, M., Az, M. & Fh, Y.E. (2016). Effect of Incorporating Whey Protein Concentrate on Chemical, Rheological and Textural Properties of Ice Cream. *Journal of Food Processing and Technology*, 7(2). <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7110.1000546>.

8. Moschopoulou, E., Demikos, D. & Zoidou, E. (2021). Ovine ice cream made with addition of whey protein concentrates of ovine-caprine origin. *International Dairy Journal*, 122, 105146. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2021.105146>.

9. Danesh, E., Goudarzi, M. & Jooyandeh, H. (2017). Short communication: Effect of whey protein addition and transglutaminase treatment on the physical and sensory properties of reduced-fat ice cream. *Journal of dairy science*, 100(7), 5206-5211. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-12537>.

10. Patel, M.R., Baer, R.J. & Acharya, M.R. (2006). Increasing the protein content of ice cream. *Journal of dairy science*, 89(5), 1400-1406. <https://doi.org/10.3168/JDS.S0022-0302%2806%292208-1>.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07 октября 2025; одобрена после рецензирования 24 февраля 2026; принята к публикации 16 марта 2026.

The article was received by the editorial board on 07 Oct 2025; approved after editing on 24 Feb 2026; accepted for publication on 16 Mar 2026.

11. Daw, E.T. & Hartel, R.W. (2015). Fat destabilization and melt-down of ice creams with increased protein content. *International Dairy Journal*, 43, 33-41. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.12.001>.

12. Dissanayake, M., Liyanaarachchi, S. & Vasiljevic, T. (2012). Functional properties of whey proteins microparticulated at low pH. *Journal of dairy science*, 95 4, 1667-1679. <https://doi.org/10.3168/jds.2011-4823>.

13. Dissanayake, M. & Vasiljevic, T. (2009). Functional properties of whey proteins affected by heat treatment and hydrodynamic high-pressure shearing. *Journal of dairy science*, 92(4), 1387-1397. <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1791>.

14. Havea, P., Watkinson, P.J. & Kuhn-Sherlock, B. (2009). Heat-induced whey protein gels: protein-protein interactions and functional properties. *Journal of agricultural and food chemistry*, 57(4), 1506-1512. <https://doi.org/10.1021/jf802559z>.

15. Hossain, M.K., Keidel, J., Hensel, O. & Diakité, M.L. (2020). The impact of extruded microparticulated whey proteins in reduced-fat, plain-type stirred yogurt: Characterization of physico-chemical and sensory properties. *Lwt - Food Science and Technology*, 134, 109976. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109976>.

16. Hossain, M.K., Petrov, M., Hensel, O. & Diakité, M.L. (2021). Microstructure and Physicochemical Properties of Light Ice Cream: Effects of Extruded Microparticulated Whey Proteins and Process Design. *Foods*, 10(6). <https://doi.org/10.3390/foods10061433>.

17. Soukoulis, C., Chandrinou, I. & Tzia, C. (2008). Study of the functionality of selected hydrocolloids and their blends with κ-carrageenan on storage quality of vanilla ice cream. *Lwt - Food Science and Technology*, 41(10), 1816-1827. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2007.12.009>.

18. Goff, H.D. & Hartel, R.W. (2013). *Ice Cream*. Boston: Springer.

19. Korolev, I. (2023). Automated Measurement of Air Bubbles Dispersion in Ice Cream Using Machine Learning Methods. *Food Processing: Techniques and Technology*, 53(3), 455-464. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2448>.

20. Tvorogova, A.A., Gurskiy, I.A., Shobanova, T.V. & Smykov, I.T. (2023). Effect of Protein Concentrates and Isolates on the Rheological, Structural, Thermal and Sensory Properties of Ice Cream. *Current Research in Nutrition and Food Science Journal*, 11(1), 294-306. <http://dx.doi.org/10.12944/CRNFSJ.11.1.22>.

21. Muse, M. & Hartel, R.W. (2004). Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness. *Journal of dairy science*, 87(1), 1-10. [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73135-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73135-5).

22. Marinova, K.G., Basheva, E.S., Nenova, B., Temelska, M.I., Mirarefi, A.Y., Campbell, B.E. & Ivanov, I.T. (2009). Physico-chemical factors controlling the foamability and foam stability of milk proteins: Sodium caseinate and whey protein concentrates. *Food Hydrocolloids*, 23, 1864-1876. <https://doi.org/10.1016/J.FOODHYD.2009.03.003>.

23. Grossmann, L., Beicht, M., Reichert, C.L. & Weiss, J. (2019). Foaming properties of heat-aggregated microparticles from whey proteins. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*. 579. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfa.2019.06.037>.

24. Coşkun, A.E. & Ocak, Ö. (2021). Foaming behavior of colloidal whey protein isolate micro-particle dispersions. *Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects*, 609, 125660. <https://doi.org/10.1016/J.COLSURFA.2020.125660>.

Information about the authors

I.A. Gurskiy - candidate of technical sciences, junior researcher in laboratory of ice cream technology in VNIKH - Branch of Gorbato Research Center for Food Systems.