

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2376>  
<https://elibrary.ru/ZSTRHN>

Оригинальная статья  
<https://fptt.ru>

## Влияние концентратов сывороточных белков на технологические и органолептические показатели качества мороженого



И. А. Гурский\*<sup>ID</sup>, А. А. Творогова<sup>ID</sup>

Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности<sup>ROR</sup>, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 03.02.2022  
Принята после рецензирования: 22.03.2022  
Принята к публикации: 05.04.2022

\*И. А. Гурский: [iixrug@yandex.ru](mailto:iixrug@yandex.ru),  
<https://orcid.org/0000-0002-8177-3472>  
А. А. Творогова: <https://orcid.org/0000-0001-7293-9162>

© И. А. Гурский, А. А. Творогова, 2022



### Аннотация.

Актуальность исследования обусловлена спросом на продукты, обогащенные белком, и необходимостью полного использования на пищевые цели составных частей молока. Цель работы – исследование технологически и органолептически значимых показателей качества мороженого, для обогащения которого используют концентраты сывороточных белков дополнительно к сухому обезжиренному молочному остатку, а также установление их технологической нормы.

Объектами исследования являлись образцы мороженого с массовой долей жира 8 % и сухого обезжиренного молочного остатка (10 %) с концентратом сывороточного белка 1, 2, 3, 4 и 5 %. Методы ротационной вискозиметрии использовались для контроля динамической вязкости, микроструктурные методы – для изучения дисперсности структурных элементов, термостатические – для установления термоустойчивости, стандартные – для определения титруемой кислотности.

Использование концентратов сывороточных белков в количестве 1–5 % в мороженом приводит к повышению титруемой кислотности (в 1,1–1,9 раз) и динамической вязкости смесей (в 1,2–2,9 раз). Скорость таяния мороженого сократилась до 3 раз через 60 мин выдерживания. Поввысилась дисперсность воздушных пузырьков (при внесении концентрата сывороточных белков 1–3 %) и кристаллов льда (количественная доля пузырьков воздуха до 50 мкм снижалась по мере увеличения доли концентрата сывороточных белков). Твердость снизилась в 1,4–8,3 раза. По мере увеличения массовой доли концентратов сывороточных белков в мороженом происходит улучшение показателей его текстуры и усиление сливочного вкуса. Установлена корреляция между данными сенсорной оценки и технологически и органолептически значимыми показателями качества мороженого.

По совокупности технологических и органолептически значимых показателей качества массовая доля концентратов сывороточных белков для обогащения сливочного мороженого должна составлять не более 3 %. Результаты исследования могут быть использованы при разработке промышленных технологий обогащенного белком мороженого.

**Ключевые слова.** Мороженое, кислотность, вязкость, твердость, кристаллы льда, пузырьки воздуха

**Финансирование.** Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по Государственному заданию ФГБНУ «ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова» РАН.

**Для цитирования:** Гурский И. А., Творогова А. А. Влияние концентратов сывороточных белков на технологические и органолептические показатели качества мороженого // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 3. С. 439–448. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2376>

## The Effect of Whey Protein Concentrates on Technological and Sensory Quality Indicators of Ice Cream



Igor A. Gurskiy\*<sup>ORCID</sup>, Antonina A. Tvorogova<sup>ORCID</sup>

All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry<sup>ORCID</sup>, Moscow, Russia

Received: 03.02.2022

Revised: 22.03.2022

Accepted: 05.04.2022

\*Igor A. Gurskiy: [iixrug@yandex.ru](mailto:iixrug@yandex.ru),

<https://orcid.org/0000-0002-8177-3472>

Antonina A. Tvorogova: <https://orcid.org/0000-0001-7293-9162>

© I.A. Gurskiy, A.A. Tvorogova, 2022



### Abstract.

The demand for protein-fortified foods is increasing, and so is the necessity of the complete utilization of milk constituents in the food industry. The research objective was to study various technological and sensory indicators of ice cream fortified with whey protein concentrate.

The study featured ice cream samples with 8% of mass fraction of fat and 10% of nonfat milk solids with whey protein concentrations of 1–5 %. The dynamic viscosity was studied by rotational viscosimetry, dispersion – by microstructural methods, thermal stability – by thermostatic methods, and titratable acidity – by standard methods.

Whey protein concentrate in amount of 1–5 % increased the titratable acidity by 1.05–1.90 times and the dynamic viscosity – by 1.16–2.90 times. With an extra addition of 4% whey protein concentrate, the viscosity of the mix exceeded the technologically permissible values. The consistency coefficient increased by 19.4 times, and the flow index decreased by 4.8 times. During freezing, the mix revealed the high capability to air saturation with mass fraction of melt whey protein concentrate of 1 and 2%. Thermal stability also increased: mass fraction of melt after 60 min of retention decreased by 3 times. After adding 1–3% whey protein concentrate, the dispersion of air bubbles and ice crystals improved. It was determined in accordance with the density of distribution by their sizes. The hardness of ice cream decreased 1.4–8.3 times as whey protein concentrate increased. A greater mass fraction of whey protein enhanced the creamy taste and improved the texture.

Based on the main technological and sensory quality indicators, the mass fraction of whey protein concentrates should be under 3%. The results may be used in protein-fortified ice cream production.

**Keywords.** Ice cream, acidity, viscosity, hardness, air cells, ice crystals

**Funding.** The research was part the state task of the V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

**For citation:** Gurskiy IA, Tvorogova AA. The Effect of Whey Protein Concentrates on Technological and Sensory Quality Indicators of Ice Cream. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(3):439–448. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-3-2376>

### Введение

Одной из современных тенденций в пищевой промышленности является производство продуктов функциональной направленности, в том числе обогащенной белками. Из молочных белков для обогащения мороженого подходят концентраты сывороточных белков. Они обеспечивают увеличение биологической ценности белков мороженого при их внесении дополнительно к белкам сухого обезжиренного молочного остатка. Высокая биологическая ценность концентратов сывороточных белков – побочного продукта производства сыра – является основанием для производства такой обогащенной продукции, как хлебобулочные изделия, конфеты, напитки и т. д. [1–5].

Концентраты сывороточных белков могут влиять на показатели качества мороженого. Белки повышают вязкость за счет влагоудерживающих свойств и влияют на поверхностное натяжение. Это может привести к спаду или росту пенообразующих способностей смесей, а также к снижению эмульгирующих свойств [6–8]. В работе [9] изучалась частичная замена сухого обезжиренного молочного остатка на концентраты сывороточных белков в количестве 1–4 %. Авторы статьи установили, что при увеличении массовой доли концентратов сывороточных белков повышается кислотность и вязкость смеси и взбитость мороженого за счет увеличения доли белка и его высоких пенообразующих свойств. Авторами работы [10] было установлено снижение взбитости и

увеличение твердости мороженого при использовании концентратов сывороточных белков с долей белка 65 и 80 %.

Мороженое содержит незамерзающую концентрированную плазму и нескольких фаз: кристаллы льда, пузырьки воздуха и суспендированные жировые частицы [11].

Структурными элементами, влияющими на показатели качества готового продукта, включая сенсорные свойства, можно считать пузырьки воздуха и кристаллы льда [12, 13]. Размер кристаллов льда зависит от состава продукта и условий его производства. Его необходимо контролировать и минимизировать, чтобы создать продукт высокого качества [14].

Структурные элементы определяют термоустойчивость – важный технологический и потребительский показатель мороженого. Пузырьки воздуха позволяют снизить скорость переноса теплоты в мороженое из более теплой среды, играя роль изолятора, а кристаллы льда замедляют нагрев и плавление, хотя являются проводниками теплоты [15]. Это объясняет термоустойчивость образцов с высокой взбитостью, которая оказывает влияние на сенсорные характеристики, а именно на легкость и гладкость текстуры [16]. Взбитость – показатель, характеризующий способность смеси к насыщению воздухом и зависящий от компонентов и их пенообразующих свойств, времени фризирования и прочности структуры, определяемой по предельному напряжению сдвига [17, 18].

Применение концентратов сывороточных белков оказывает влияние на технологически значимые показатели качества мороженого, которые являются и органолептически значимыми, определяющими консистенцию, структуру и сенсорное ощущение, возникающее при разжевывании продукта – текстуру.

Целью данной работы, учитывая недостаточное число исследований и их противоречивые результаты, являлось исследование технологически и органолептически значимых показателей качества мороженого при использовании концентратов сывороточных белков дополнительно к сухому

обезжиренному молочному остатку, а также установление их технологической нормы.

### Объекты и методы исследования

В данной работе объектами исследования являлись образцы мороженого с массовой долей жира 8 % и сухого обезжиренного молочного остатка 10 % с дополнительно введенными концентратами сывороточных белков в количестве 1, 2, 3, 4 и 5 %. Данные образцы сравнивали с контролем, не содержащим концентраты сывороточных белков. Характеристика образцов представлена в таблице 1.

**Производство мороженого.** Для изготовления мороженого использовали: молоко сухое обезжиренное по ГОСТ 33629-2015, масло сливочное с массовой долей жира 72,5 % по ГОСТ 32261-2013, сахар белый по ГОСТ 33222-2015, концентраты сывороточных белков Mlekovita (Ingredia, Франция) и эффективный комплексный стабилизатор-эмульгатор (моно- и диглицериды жирных кислот, камедь рожкового дерева, гуаровая камедь, каррагинан).

Процесс производства мороженого включал следующие стадии: смешивание сырьевых компонентов и их подогрев до 40–45 °С, фильтрацию смеси, ее пастеризация при температуре 78 °С с выдержкой 10 мин, гомогенизация смеси при температуре 75 °С и давлении на первой ступени 12,0–14,0 МПа, на второй ступени – 3,0–5,0 МПа, охлаждение смеси до 4 °С, созревание при 4 °С 24 ч, ее фризирование до температуры мороженого –5 °С, фасование мороженого в тару из полистирола объемом 150 мл, его закаливание при температуре –30 °С 3 дня и хранение при температуре –18 °С [19].

Исследование динамической вязкости смесей для мороженого проводили с использованием реовискзиметра DV – II + Pro (BrookField, США) с программным обеспечением Rheocalc V3 1-1 (BrookField, США) при скорости вращения шпинделя 15 об/мин [20]. По модели Гершеля–Балки (1) определяли коэффициент консистенции и индекс потока:

$$\tau = \tau^{\circ} + k \times D^n \quad (1)$$

Таблица 1. Химический состав исследуемых образцов мороженого  
Table 1. Chemical composition of ice cream

Показатели, %, не менее	Образцы					
	Контроль	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Массовая доля сухих веществ	32,55	33,55	34,55	35,55	36,55	37,55
Молочный жир	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0
Сухой обезжиренный молочный остаток	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Концентраты сывороточных белков	–	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0
Сахароза	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0	14,0
Стабилизатор-эмульгатор	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55	0,55
Общая массовая доля белка	3,4	4,4	5,4	6,4	7,4	8,4

где  $\tau$  – напряжение сдвига, Па;  $D$  – скорость сдвига,  $\text{с}^{-1}$ ;  $k$  – коэффициент консистенции (индекс текучести);  $n$  – индекс потока;  $\tau^\circ$  – предел текучести, Па.

Анализ текстуры образцов мороженого проводили на текстурометре LFRA Texture Analyzer (Brookfield, США) с программным обеспечением TexturePro Lite v1.1 Bld 4. Для исследования использовали заранее подобранный датчик TA28. Образцы мороженого хранились при температуре  $-18^\circ\text{C}$ . Их помещали на предметный столик прибора, после чего запускали программу. В соответствии с ней датчик погружался на глубину 5 мм со скоростью 0,5 мм/с и силой 10 г. Для каждого образца проводилось не менее 9 измерений.

Взбитость, %, определяли на основе массы смеси и мороженого одного и того же объема, согласно [19], по формуле (2):

$$\text{Взбитость} = \frac{m_{\text{см}} - m_{\text{м}}}{m_{\text{м}}} \times 100 \quad (2)$$

где  $m_{\text{см}}$  – масса смеси, г;  $m_{\text{м}}$  – масса мороженого, г; 100 – коэффициент пересчета отношения в проценты, %.

Титруемую кислотность, выраженную в градусах Тернера ( $^\circ\text{T}$ ), определяли титрованием с использованием раствора NaOH 0,1 н и индикатора фенолфталеина по ГОСТ 3624-92.

Определение термоустойчивости образцов основано на определении массовой доли плава, образовавшегося в процессе термостатирования образцов мороженого при  $20^\circ\text{C}$  в течение 2 ч. Долю плава ( $M_{\text{п}}$ ) рассчитывали по формуле (3):

$$M_{\text{п}} = \frac{m_{\text{пл}} - m_{\text{ч}}}{m_{\text{м}}} \times 100 \quad (3)$$

где  $m_{\text{пл}}$  – масса плава мороженого, г;  $m_{\text{ч}}$  – масса пустой чашки, г;  $m_{\text{м}}$  – масса мороженого, г.

Микрофотографии воздушной фазы и кристаллов льда получали с помощью микроскопа CX41RF (OLYMPUS, Япония) с термостолком PE 120 (Linkam Instruments, Великобритания). Их обрабатывали в ImageScope M (СМА, Россия) [20]. Для полученных данных по дисперсности структурных элементов получали графическую зависимость плотности распределения структурных элементов по размерам в соответствии с уравнением (4):

$$Y = (b \times t)^a \times e^{-b \times t} \quad (4)$$

Органолептические показатели определяла группа из 5 дегустаторов. Оценивали вкус и аромат (максимальный балл 6,0), структуру и консистенцию (максимальный балл 3,0), цвет и внешний вид (максимальный балл 1,0).

Статистическую обработку проводили с использованием программы Past 4.03. Использовали однофакторный дисперсионный анализ (One-way ANOVA) (= 95 %) с применением теста Tukey для

попарного сравнения образцов. Графики распределения строили в программе Mathcad 14.

### Результаты и их обсуждение

К органолептическим показателям мороженого относят «вкус и аромат», «структуру и консистенцию», «цвет и внешний вид». Поэтому исследовали влияние количества концентратов сывороточных белков на кислотность, реологические показатели, способность смеси к насыщению воздухом (взбитость), дисперсность структурных элементов и органолептику.

Исследование влияния количества концентратов сывороточных белков на титруемую кислотность позволило установить изменения ( $P < 0,05$ ) данного показателя между образцами. Внесение белков, начиная с 2 %, повышает титруемую кислотность смеси до уровня, превышающего допустимый нормативными документами. Внесение 5 % белка привело к повышению титруемой кислотности, по сравнению с контролем, в 1,9 раза (рис. 1), что согласуется с рядом зарубежных исследований. Рост титруемой кислотности образцов с концентратами сывороточных белков связан с высоким содержанием белков и органических кислот. Однако достигаемая в образцах мороженого с концентратами сывороточных белков кислотность не является критической, не приводит к органолептическому ощущению кислоты в продукте и не вызывает кислотной коагуляции продукта при тепловой обработке.

Установлено влияние концентратов сывороточных белков на реологические свойства смесей для мороженого (табл. 2). Учитывая, что при их внесении в смесь для мороженого с традиционной массовой долей сухого обезжиренного молочного остатка (10 %) увеличилась массовая доля белков, произошло повышение динамической вязкости. Значение этого показателя, как следует из базы данных ВНИХИ, при градиенте сдвига на срез  $0,25 \text{ с}^{-1}$  не должно превышать  $1100 \text{ мПа}\cdot\text{с}$ . Установлено увеличение вязкости при внесении 4 % концентратов сывороточных белков, при использовании 5 % – в 3,4 раза. При анализе влияния количества концентратов сывороточных белков на коэффициент консистенции отмечена аналогичная тенденция. В образце № 5 определить коэффициент консистенции и индекса потока не удалось из-за выраженного процесса структурирования. Внесение 4 % концентратов сывороточных белков привело к увеличению коэффициента консистенции в 19,4 раза и снижению индекса потока в 4,8 раза. В процессе созревания смеси произошло увеличение вязкости в контрольном образце и в образцах № 1–3 в среднем на 16 %. В образцах № 4 и 5 данный показатель значительно не изменился. Полученные результаты были сопоставимы с приведенными в работе [21].

В процессе фризирования смеси установлена ее высокая способность к насыщению воздухом при массовой доле концентратов сывороточных белков

Таблица 2. Реологические свойства образцов смесей  
Table 2. Rheological properties of mixes

Показатель	Образцы					
	Контроль	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
До созревания						
Динамическая вязкость, мПа·с	559	646	680	928	1603	1893
Коэффициент консистенции	901	853	955	1321	17440	–
Индекс потока	0,63	0,70	0,69	0,68	0,13	–
После созревания						
Динамическая вязкость, мПа·с	637	750	845	1030	1693	1865
Коэффициент консистенции	970	1131	1222	1813	16419	–
Индекс потока	0,64	0,65	0,67	0,60	0,13	–

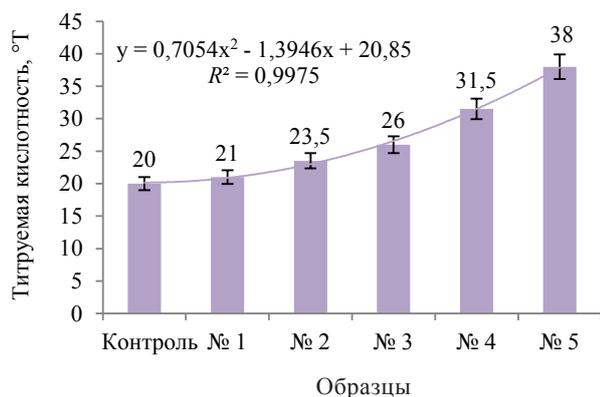


Рисунок 1. Показатели титруемой кислотности образцов мороженого

Figure 1. Indicators of titratable acidity in ice cream samples

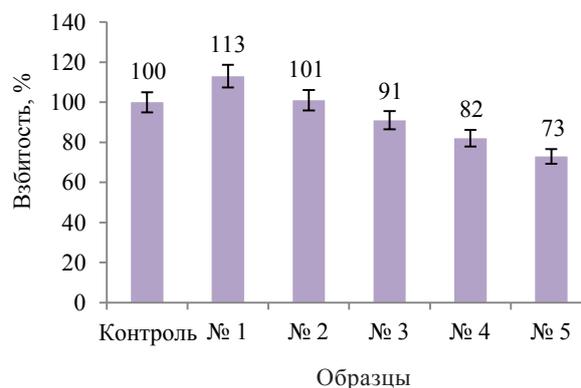


Рисунок 2. Показатели взбитости образцов мороженого

Figure 2. Overrun indicators of ice cream samples

1 и 2 %, определяемая по показателю «взбитость» при отсутствии принудительной подачи воздуха (рис. 2). Однако более высокая вязкость смеси в образцах № 3–5 вызвала снижение данной способности, в частности в образце № 5 на 27 %.

Во всех образцах с применением концентратов сывороточных белков установлена высокая дисперсность кристаллов льда. После закаливания опытные образцы отличались от контрольного ( $P < 0,05$ ) по показателям «средний размер кристаллов» и их «количественная доля до 50 мкм». Доля кристаллов льда до 50 мкм и их средний размер, в зависимости от количества, в образцах с концентратом сывороточных белков не отличались ( $P > 0,05$ ). Через 1 месяц хранения различия в дисперсности кристаллов льда между контрольным образцом и образцами с концентратом сывороточных белков увеличились (табл. 3, рис. 3). Высокая доля кристаллов льда размером до 50 мкм через 1 месяц хранения в образцах с наибольшим содержанием белка связана с его влагоудерживающей способностью, влияющей на их образование и число. Образцы, содержащие 1–3 % концентрата сывороточных белков, характеризовались схожими значениями

среднего размера кристаллов льда ( $P > 0,05$ ). Доля кристаллов до 50 мкм была практически одинаковой в образцах № 2–5. Микрофотографии кристаллов льда представлены на рисунке 4.

При оценке воздушной фазы была установлена ее высокая дисперсность во всех образцах мороженого с концентратами сывороточных белков (табл. 4, рис. 5). На стадии закаливания было установлено различие контрольного образца и образца № 1 ( $P < 0,05$ ) по среднему размеру пузырьков воздуха. Количественная доля пузырьков воздуха до 50 мкм снижалась по мере увеличения доли концентрата сывороточных белков. Подобные изменения можно объяснить влиянием концентрата сывороточных белков на стабильность оболочек пузырьков воздуха при их формировании и хранении. Также увеличение вязкости могло привести к изначальному снижению количества пузырьков воздуха. Образцы № 2–5 по этому показателю значимых различий не имели ( $P > 0,05$ ). Через 1 месяц хранения статистически значимые различия ( $P < 0,05$ ) в дисперсности воздушной фазы в образцах с концентратом сывороточных белков были установлены в образце № 3 в сравнении с № 4 и 5. Сравнение остальных образцов

Таблица 3. Показатели дисперсности кристаллов льда образцов мороженого  
Table 3. Indicators of dispersion of ice crystals in ice cream samples

Параметр	Образцы					
	Контроль	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
После закаливания						
Доля до 50 мкм, %	88,5	95,6	93,0	95,5	96,8	95,1
Средний диаметр кристаллов льда, мкм	34,7 ± 1,4	30,2 ± 0,9	29,8 ± 1,2	28,4 ± 1,0	27,7 ± 0,8	29,1 ± 1,0
Коэффициент «а»	3,583	3,689	3,66	3,712	3,734	3,695
Коэффициент «b»	0,110	0,125	0,131	0,138	0,138	0,131
$R^2$	0,942	0,927	0,983	0,975	0,957	0,972
Через 1 месяц хранения						
Доля до 50 мкм, %	82,8	91,6	94,6	93,4	98,2	97,2
Средний диаметр кристаллов льда, мкм	36,0 ± 1,6	31,8 ± 1,7	30,3 ± 1,1	29,3 ± 1,2	22,8 ± 0,8	26,1 ± 0,9
Коэффициент «а»	3,515	3,620	3,689	3,692	3,858	3,767
Коэффициент «b»	0,106	0,122	0,129	0,134	0,173	0,148
$R^2$	0,977	0,977	0,949	0,956	0,974	0,969

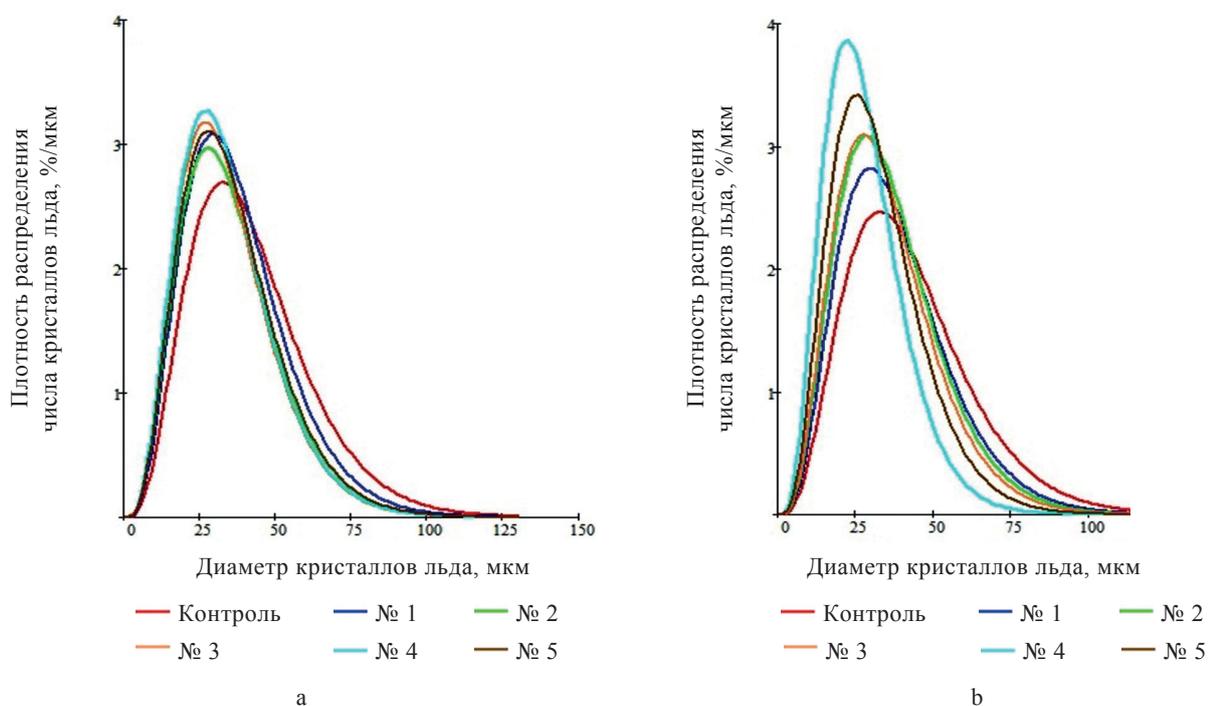


Рисунок 3. Распределение кристаллов льда: а – после закаливания; б – через 1 месяц хранения

Figure 3. Distribution of ice crystals: a – after hardening; b – after 1 month of storage

не выявило значимых различий ( $P > 0,05$ ) по показателю «средний размер». При этом количественная доля пузырьков воздуха до 50 мкм в образцах № 1–3 оказалась выше, чем в остальных. Содержание 5 % концентрата сывороточных белков в мороженом привело к снижению доли пузырьков воздуха до 50 мкм до значения ниже, чем в контроле. Микрофотографии пузырьков воздуха представлены на рисунке 6.

Кроме состояния воздушной фазы (степени насыщения воздухом) и ее дисперсности важным показателем, характеризующим консистенцию мороженого, является твердость. Твердость – это технологически и органолептически значимый показатель, который влияет на товарные свойства порций при транспортировании и хранении, а также на текстуру продукта при потреблении. Анализ твердости позволил установить снижение показателя по мере

Таблица 4. Показатели воздушной фазы образцов мороженого

Table 4. Air phase parameters of ice cream samples

Параметр	Образцы					
	Контроль	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
После закаливания						
Доля до 50 мкм, %	78,7	95,0	87,4	85,2	87,3	83,6
Средний диаметр пузырьков воздуха, мкм	34,5 ± 1,7	22,5 ± 1,0	29,0 ± 1,5	27,9 ± 1,7	27,1 ± 1,5	30,2 ± 2,0
Коэффициент «а»	3,490	3,717	3,545	3,544	3,555	3,517
Коэффициент «b»	0,120	0,175	0,134	0,155	0,151	0,142
R <sup>2</sup>	0,980	0,986	0,983	0,947	0,957	0,960
Через 1 месяц хранения						
Доля до 50 мкм, %	75,3	80,0	82,1	86,3	76,9	71,5
Средний диаметр пузырьков воздуха, мкм	36,9 ± 2,3	34,9 ± 2,3	32,6 ± 2,4	31,6 ± 2,3	36,3 ± 2,9	38,5 ± 2,6
Коэффициент «а»	3,438	3,349	3,522	3,585	3,507	3,418
Коэффициент «b»	0,110	0,103	0,131	0,139	0,134	0,121
R <sup>2</sup>	0,991	0,938	0,988	0,996	0,984	0,948

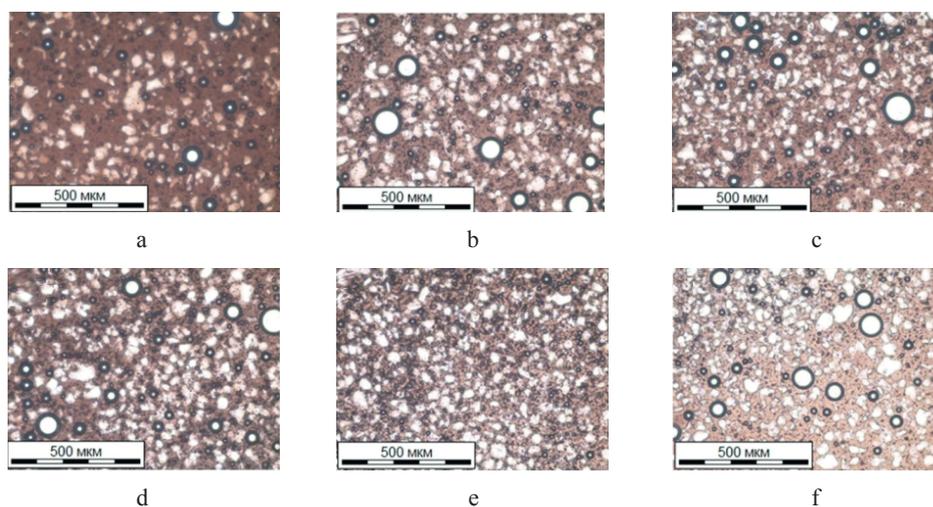


Рисунок 4. Микрофотографии кристаллов льда в образцах мороженого через 1 месяц хранения: а – контроль; б – образец № 1; с – образец № 2; д – образец № 3; е – образец № 4; ф – образец № 5

Figure 4. Micrographs of ice crystals in ice cream samples after 1 month of storage: a – control; b – sample № 1; c – sample № 2; d – sample № 3; e – sample № 4; f – sample № 5

увеличения концентрата сывороточных белков. Были установлены значимые отличия образцов с концентратом сывороточных белков в сравнении с контролем. Отличия по этому показателю между образцами № 2 и 3, а также № 4 и 5 не имели значимых различий ( $P > 0,05$ ). Снижение твердости можно объяснить более мелкими кристаллами льда, поскольку с увеличением массовой доли белка происходит увеличение числа контактов активных радикалов белка с молекулами воды. Это оказывает положительное влияние на нуклеацию и размеры кристаллов льда. В пользу этого свидетельствует факт снижения твердости в образцах с наименьшей

взбитостью (наибольшей плотностью). В сравнении с контрольным образцом (взбитость 100 %) в образцах № 1 (взбитость 113 %) и 5 (взбитость 100 %) с 1 % концентратом сывороточных белков отличия в твердости достигли 1,4 и 8,3 раза соответственно. Значения твердости представлены на рисунке 7.

При исследовании термоустойчивости мороженого установлено, что по мере повышения массовой доли концентрата сывороточных белков этот показатель улучшается (рис. 8). Это связано с его влиянием на вязкость и взбитость, поскольку в мороженом массовая доля жира невысокая (8 %). Воздействие жира на термоустойчивость не так заметно, как в

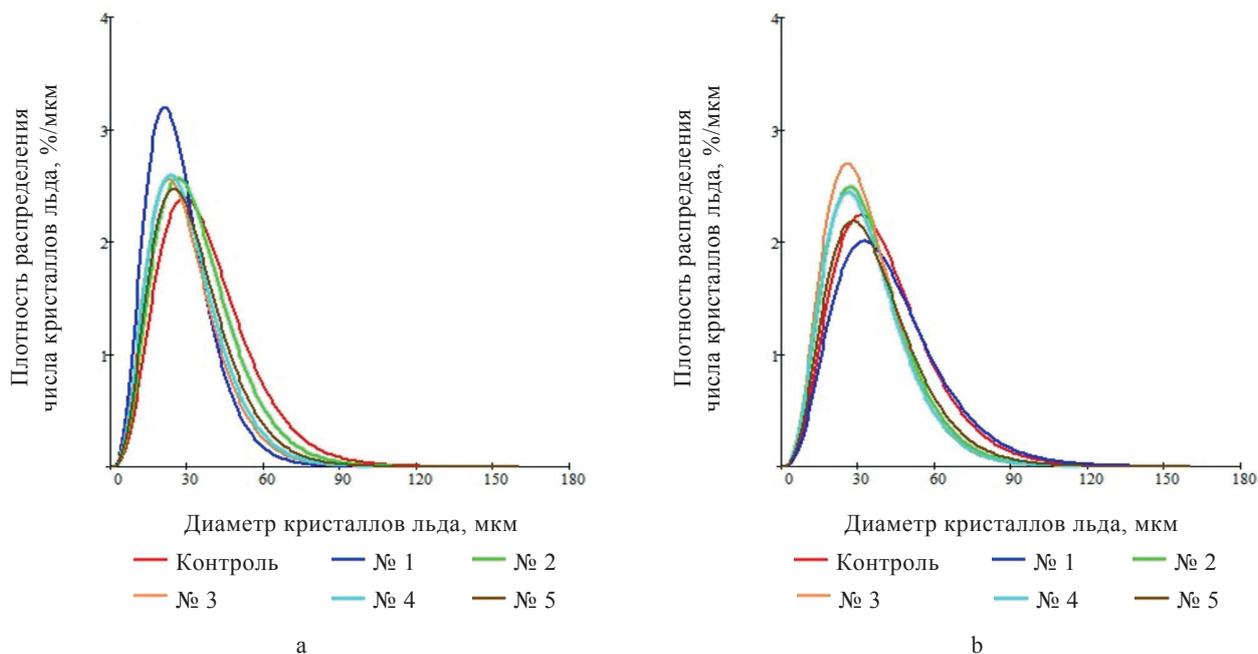


Рисунок 5. Распределение пузырьков воздуха: а – после закаливания; б – через 1 месяц хранения  
 Figure 5. Distribution of air bubbles: a – after hardening; b – after 1 month of storage

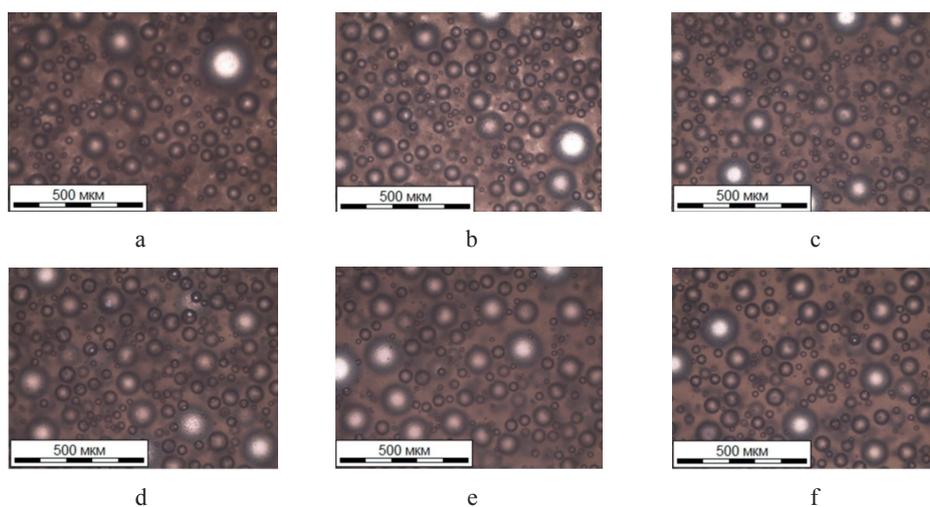


Рисунок 6. Микрофотографии состояния воздушной фазы в мороженом через 1 месяц хранения: а – контроль; б – образец № 1; с – образец № 2; d – образец № 3; e – образец № 4; f – образец № 5

Figure 6. Air phase of ice cream after 1 month of storage: a – control; b – sample № 1; c – sample № 2; d – sample № 3; e – sample № 4; f – sample № 5

продукте с массовой долей 10 % и более. В связи с этим более низкая термоустойчивость отмечена в образце с наибольшей взбитостью (№ 1).

Наиболее термоустойчивыми оказались образцы с концентратом сывороточных белков с наименьшей взбитостью и наибольшей вязкостью (№ 4 и 5).

При органолептической оценке обогащенного мороженого и контроля все образцы получили

высокую оценку (табл. 5). Увеличение массовой доли концентрата сывороточных белков приводит к усилению сливочного вкуса, а также к улучшению текстурных показателей. Дегустаторы отмечали отсутствие ощутимых кристаллов льда во всех образцах мороженого. Отмечалось, что образцы с 1–3 % концентрата сывороточных белков быстро таят, что коррелирует с данными по термоустойчивости. Также

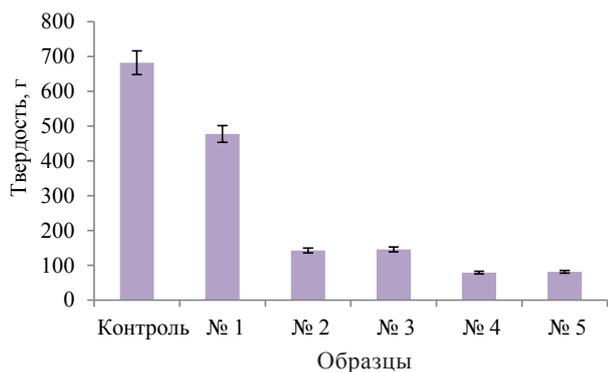


Рисунок 7. Твердость образцов мороженого

Figure 7. Hardness of ice cream samples

Таблица 5. Органолептические характеристики образцов мороженого

Table 5. Sensory properties of ice cream samples

Показатель	Образцы					
	Контроль	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Вкус и аромат	5,5	5,5	5,6	5,6	5,7	5,8
Структура и консистенция	2,4	2,6	2,7	2,7	2,8	2,8
Цвет и внешний вид	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Итого	8,9	9,1	9,3	9,3	9,5	9,6

была отмечена более плотная текстура в образцах, содержащих 3–5 % концентрата сывороточных белков.

Как следует из результатов проведенных исследований, органолептическая оценка мороженого коррелирует с его органолептически значимыми показателями качества. При увеличении массовой доли концентратов сывороточных белков титруемая кислотность повышается, но не приводит к сенсорному ощущению повышенной кислотности. Применение концентрата сывороточных белков способствует повышению вязкости и дисперсности воздушной фазы (при внесении 1–3 %) и кристаллов льда. При органолептической оценке получены наибольшие значения баллов по показателям «структура и консистенция», возрастающие по мере повышения массовой доли концентратов сывороточных белков в продукте.

Результаты проведенных и ранее опубликованных исследований позволяют определить объективную массовую долю концентрата сывороточных белков для обогащения мороженого – 3 % [22]. При этом значении достигаются предельно допустимая для промышленных условий динамическая вязкость смесей, более высокая дисперсность воздушной фазы, наибольшее повыше-

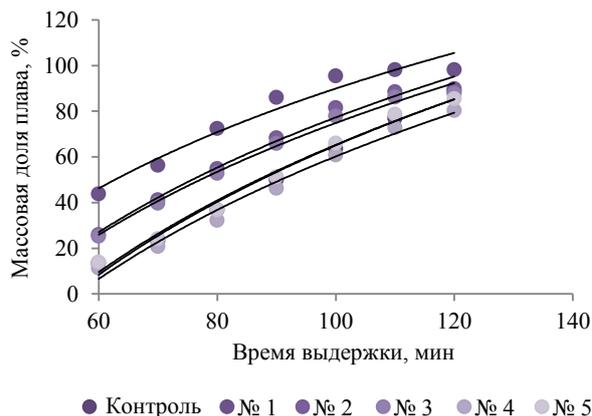


Рисунок 8. Влияние концентрата сывороточных белков на термоустойчивость мороженого

Figure 8. Effect of whey protein concentrates on the thermal stability of ice cream

ние биологической ценности белков и хорошие органолептические показатели. Обеспечивается необходимая для обогащенного мороженого доля калорийности белков в калорийности продукта (не менее 12 %) – 164 и 25 ккал соответственно.

### Выводы

Проведен комплекс экспериментальных исследований по обоснованию объективной массовой доли концентратов сывороточных белков в обогащенном мороженом с массовой долей жира 8 % с учетом их влияния на органолептически и технологически значимые показатели качества. Установлено, что использование концентратов сывороточных белков в количестве 1–5 % приводит к повышению:

- титруемой кислотности смесей (в 1,05–1,90 раз);
- динамической вязкости смесей (в 1,16–2,90 раз);
- термоустойчивости мороженого (массовая доля плава через 60 мин выдерживания сокращается до 3 раз);
- дисперсности воздушных пузырьков (при внесении концентратов сывороточных белков 1–3 %) и кристаллов льда, определяемой по плотности их распределения по размерам.

Также снижается твердость в 1,4–8,3 раза.

Установлена корреляция между данными сенсорной оценки и технологически и органолептически значимыми показателями качества мороженого.

Определена объективная доля концентратов сывороточных белков (3 %) для обогащения мороженого с массовой долей молочного жира 8 %.

### Критерии авторства

И. А. Гурский – обзор литературы, проведение и обработка результатов экспериментальных исследований. А. А. Творогова – постановка, научное руководство и анализ результатов исследований.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

results. A.A. Tvorogova designed the research, provided scientific counselling, and analyzed the research results.

### Contribution

I.A. Gurskiy reviewed the scientific literature, conducted the research, and processed the experimental

### Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest regarding the publication of this article.

### References/Список литературы

1. Henriques M, Gomes D, Pereira C. Liquid whey protein concentrates produced by ultrafiltration as primary raw materials for thermal Dairy Gels. *Food Technology and Biotechnology*. 2017;55(4):454–463. <https://doi.org/10.17113/ftb.55.04.17.5248>
2. Andoyo R, Fitri AR, Putri RS, Mardawati E, Nurhadi B, Sukri N, et al. Production of denatured whey protein concentrate at various pH from wastewater of cheese industry. *agriTECH*. 2021;41(2):161–171. <https://doi.org/10.22146/AGRITECH.55439>
3. Pradipta DRE, Andoyo R. Optimization formulation of high protein biscuit made from denatured whey protein concentrate and sweet potato flour supplemented with mineral as emergency food. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;443(1). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/443/1/012066>
4. Kalinovskaya TV, Bogodist-Timofeeva EYu. Research of functional and technological properties of whey protein concentrate in technologies of whipped candy masses. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2021;83(2):169–174. (In Russ.). <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-2-169-174>
5. Levin MA, Burrington KJ, Hartel RW. Whey protein phospholipid concentrate and delactosed permeate: Applications in caramel, ice cream, and cake. *Journal of Dairy Science*. 2016;99(9):6948–6960. <https://doi.org/10.3168/jds.2016-10975>
6. Loffredi E, Moriano ME, Masseroni L, Alamprese C. Effects of different emulsifier substitutes on artisanal ice cream quality. *LWT*. 2021;137. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110499>
7. E X, Pei ZJ, Schmidt KA. Ice cream: Foam formation and stabilization – A review. *Food Reviews International*. 2010;26(2):122–137. <https://doi.org/10.1080/87559120903564472>
8. Awad RA, Hassan ZMR, Salama WM. Surface tension and foaming properties as a simple index in relation to buffalo milk adulteration. *International Journal of Dairy Science*. 2014;9(4):106–115. <https://doi.org/10.3923/ijds.2014.106.115>
9. El-Zeini Hoda M, Moneir El-Abd M, Mostafa AZ, Yasser El-Ghany FH. Effect of incorporating whey protein concentrate on chemical, rheological and textural properties of ice cream. *Journal of Food Processing and Technology*. 2016;7(2). <https://doi.org/10.4172/2157-7110.1000546>
10. Moschopoulou E, Dernikos D, Zoidou E. Ovine ice cream made with addition of whey protein concentrates of ovine-caprine origin. *International Dairy Journal*. 2021;122. <https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2021.105146>
11. El-Zeini HMM, Abdel-Atti Ali A-R, Awad RA, El-Ghany YFHA. Texture evaluation of whey protein concentrate incorporated ice cream by Back Extrusion technique. *International Journal of Environment Agriculture and Biotechnology*. 2018;3(1):006–013. <https://doi.org/10.22161/ijeab/3.1.2>
12. Guo E, Kazantsev D, Mo J, Bent J, Van Dalen G, Schuetz P, et al. Revealing the microstructural stability of a three-phase soft solid (ice cream) by 4D synchrotron X-ray tomography. *Journal of Food Engineering*. 2018;237:204–214. <https://doi.org/10.1016/J.JFOODENG.2018.05.027>
13. Guo E, Zeng G, Kazantsev D, Rockett P, Bent J, Kirkland M, et al. Synchrotron X-ray tomographic quantification of microstructural evolution in ice cream – a multi-phase soft solid. *RSC Advances*. 2017;7(25):15561–15573. <https://doi.org/10.1039/C7RA00642J>
14. Amador J, Hartel R, Rankin S. The effects of fat structures and ice cream mix viscosity on physical and sensory properties of ice cream. *Journal of Food Science*. 2017;82(8):1851–1860. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13780>
15. Warren MM, Hartel RW. Effects of emulsifier, overrun and dasher speed on ice cream microstructure and melting properties. *Journal of Food Science*. 2018;83(3):639–647. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13983>
16. Muzammil HS, Javed I, Rasco B, Zahoor T. Viability of probiotics in frozen yogurt with different levels of overrun and glycerol. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2015;17(3):648–652. <https://doi.org/10.17957/IJAB%2F17.3.13.1116>
17. Królczyk JB, Dawidziuk T, Janiszewska-Turak E, Sołowiej B. Use of Whey and whey preparations in the food industry – A review. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*. 2016;66(3):157–165. <https://doi.org/10.1515/pjfn-2015-0052>
18. Sofjan RP, Hartel RW. Effects of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. *International Dairy Journal*. 2004;14(3):255–262. <https://doi.org/10.1016/J.IDAIRYJ.2003.08.005>
19. Gurskiy IA. Effect of fermented base amount on dispersion of air phase of thawed desserts. *Food Systems*. 2021;4(3S):67–70. (In Russ.). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3S-67-70>
20. Goff HD, Hartel RW. *Ice Cream*. New York: Springer; 2013. 462 p. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6096-1>
21. Roy S, Hussain SA, Prasad WG, Khetra Y. Quality attributes of high protein ice cream prepared by incorporation of whey protein isolate. *Applied Food Research*. 2022;2(1). <https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100029>
22. Tvorogova AA, Gurskiy IA, Shobanova TV. Biological indicators of protein quality of enriched cream ice cream. *Dairy Industry*. 2022;(3):39–41. (In Russ.). <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2022-03-39-41>