ISSN 2074-9414 (Print)
ISSN 2313-1748 (Online)

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2410
https://elibrary.ru/AUQCPD

Оригинальная статья
https://fptt.ru

Влияние технологических факторов на воздушную фазу взбитых кисломолочных десертов

И. А. Гурский*, А. А. Творогова

Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 14.04.2022
Принята после рецензирования: 16.05.2022
Принята к публикации: 07.06.2022

**И. А. Гурский: 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, 2023

Аннотация.
Производство взбитых кисломолочных десертов, в том числе потребляемых в размороженном виде, способствует расширению ассортимента функциональных продуктов питания. Формоустойчивость взбитого десерта определяется дисперсностью воздушной фазы. Цель работы заключалась в изучении влияния состава и способа производства взбитого кисломолочного десерта, потребляемого в размороженном виде, на дисперсность и стабильность воздушной фазы в процессе его хранения и размораживания.
Объектами исследования являлись взбитые кисломолочные десерты с желатином и пектином (№ 1 и 2), с различным содержанием ферментированной основы (№ 1 и 3) и желатина (№ 3 и 5) и с концентратом сывороточных белков (№ 4). Для контроля динамической вязкости использовали методы ротационной вискозиметрии, для изучения дисперсности структурных элементов – микроструктурные методы.
Установлено, что смеси для десертов с содержанием 1,3 % пектина характеризуются более высокими значениями динамической вязкости (в 3,8 раза), чем с 1,3 % желатина. Дополнительное введение 3 % концентрата сывороточных белков способствовало повышению вязкости смеси в 4,4 раза и взбитости десерта в 1,4 раза, а также стабильности воздушной фазы при размораживании. В десерте с желатином, произведенным путем ферментации молочной основы (№ 3), через 24 ч хранения при температуре 4 ± 2 °C отметили воздушные пузырьки с меньшим средним диаметром (на 21 мкм) в сравнении с десертом с 30 % йогурта. Увеличение количества желатина до 2 % не привело к повышению динамической вязкости смеси, но в 1,3 раза повысило взбитость десерта и отрицательно сказалось на дисперсности воздушной фазы. Воздушная фаза взбитых кисломолочных десертов была менее стабильна при введении пектина.
В результате проведенного исследования установлено влияние гелеобразователей, концентратов сывороточных белков и ферментированной основы на дисперсность и стабильность воздушной фазы кисломолочных десертов. Установлено отрицательное влияние пектина на дисперсность воздушной фазы размороженных десертов. Увеличение содержания ферментированной основы и желатина, а также использование концентратов сывороточных белков повышает стабильность воздушной фазы в течение 24 ч хранения при температуре 4 ± 2 °C. Результаты исследования могут быть использованы при разработке технологий производства взбитых кисломолочных десертов и их хранения в размороженном состоянии.

Ключевые слова. Кисломолочные продукты, замороженные продукты, дисперстность, стабилизатор, гелеобразователь, концентрат сывороточных белков, размораживание, хранение

Финансирование. Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию ФНЦ пищевых систем им. В. М. Горбатова РАН.

Для цитирования: Гурский И. А., Творогова А. А. Влияние технологических факторов на воздушную фазу взбитых кисломолочных десертов // Техника и технология пищевых производств. 2023. Т. 53. № 1. С. 1–12. https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2410

https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2410
https://elibrary.ru/AUQCPD

Original article
Available online at https://fptt.ru/en

The Impact of Technological Factors on the Air Phase of Defrosted Fermented-Milk Desserts

Igor A. Gurskiy*, Antonina A. Tvorogova

All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry, Moscow, Russia

Received: 14.04.2022
Revised: 16.05.2022
Accepted: 07.06.2022

**Igor A. Gurskiy: 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, 2023

Abstract.
Whipped desserts made of fermented milk are very popular. They also make it possible to expand the range of functional products. The consumer properties of defrosted desserts depend on the air phase. This research featured the impact of different formulations and methods on the dispersion of the air phase in the process of defrosting fermented-milk desserts.
The study featured several samples of whipped fermented desserts. Sample 1 contained gelatin; Sample 2 contained pectin. Samples 1 and 3 had different contents of fermented foundation while Samples 3 and 5 differed in the amount of gelatin stabilizer. Sample 4 contained a whey protein concentrate. The dispersion of structural elements was measured using microstructural methods.
The experiments included the quality parameters of mixes, as well as the dispersion of air phase in the frozen state and after 24 h of storage at 4 ± 2°C. The viscosity of the sample with pectin exceeded that with gelatin by 3.8 times. Extra whey protein increased the viscosity by 4.4 times and the overrun – by 1.4 times. In the whey protein sample, the average diameter of air bubbles was 36 µm after 24 h of storage at 4 ± 2°C and 50 µm after 12 months, while in the sample without protein it was 48 and 86 µm, respectively. Sample 3, which had a greater fermentation, demonstrated a smaller average diameter of air bubbles (by 21 µm) after 24 h of storage than the sample with yogurt. The sample with extra gelatin increased the overrun by 1.3 times and negatively affected the dispersion of the air phase. After 24 h of storage, the average diameter of the air bubbles in the sample with an increased content of stabilizer was higher by 27 µm. The air phase was less stable in the sample with pectin.
The research established the effect of gelling agents, whey protein concentrates, and fermented foundation on the dispersion and stability of the air phase in fermented-milk desserts. Pectin appeared to have a negative effect on the air phase during defrosting and caused excessive condensation and drainage. The increasing amount of fermented base and gelatin, as well as the use of whey protein concentrates, increased the stability of the air phase during 24 h of storage at 4 ± 2°C. The research results could be used to develop new production technologies of overrun fermented desserts and their preservation in the defrosted state.

Keywords. Dairy products, frozen products, dispersion, stabilizer, gelling agent, whey protein concentrate, defrosting, storage

Funding. The research was part of the State task to V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of RAS.

For citation: Gurskiy IA, Tvorogova AA. The Impact of Technological Factors on the Air Phase of Defrosted Fermented-Milk Desserts. Food Processing: Techniques and Technology. 2023;53(1):1–12. (In Russ.). https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-1-2410

Введение

За последнее время увеличилось потребление взбитых продуктов, характеризуемых кремообразной консистенцией. Расширить ассортимент такой продукции можно за счет кисломолочных десертов, изготовляемых по технологии мороженого и потребляемых в размороженном виде. Кисломолочные десерты, как и мороженое, являются сложными структурированными продуктами, в плазме которых распределены кристаллы льда, пузырьки воздуха и жировые глобулы [1, 2]. Органолептический показатель «кремообразная консистенция» и термоустойчивость десертов зависят от состояния воздушной фазы и ее стабильности [3].

Формирование воздушной фазы происходит в процессе фризерования смеси. Одновременно с насыщением смеси воздухом происходит ее охлаждение, замораживание и образование кристаллов льда, в результате чего нарастает вязкость [4]. Изменение вязкости влияет на размер образующихся

воздушных пузырьков [5]. Помимо вязкости, к факторам, влияющим на состояние пузырьков воздуха, относятся способы производства взбитых продуктов и их композиционный состав (качественный и количественный состав стабилизаторов, эмульгаторов, жиров и белков) [6–12].

Производство кисломолочных десертов возможно двумя способами: внесение кисломолочных продуктов (сметаны, ряженки, кефира, йогурта) в смесь на молочной основе или смешивание ферментированной молочной основы с сиропом из сахаров. В процессе ферментации происходят коагуляция белка, образование структуры в виде матрицы, удерживающей воду, и нарастание вязкости [13]. От количества ферментированной основы зависит прочность матрицы. В работе [14] было рассмотрено влияние разного количества внесенного йогурта на дисперсность воздушной фазы, но не изучено влияние различных компонентов на ее стабильность в процессе размораживания.

Основными механизмами изменения пузырьков воздуха являются коалесценция, диспропорционирование (созревание Оствальда) и дренаж [15–17]. Для производства размороженных десертов используют стабилизаторы-гелеобразователи. Благодаря вязкости, создаваемой стабилизатором, можно избежать дренажа за счет увеличения прочности матрицы, удерживающей фазы десерта. Такими стабилизаторами-гелеобразователями могут быть различные виды желатина и пектина, применяемые в производстве кондитерских изделий [18]. При технологически необходимом высоком содержании стабилизатора-гелеобразователя смесь десерта приобретает высокую вязкость и подается во фризер при температуре около 20 °С [14]. Высокая изначальная температура обуславливает длительное нахождение смеси во фризере, что способствует снижению среднего размера пузырьков воздуха [19]. Белки также выполняют роль загустителя за счет влагоудерживающей способности и оказывают влияние на стабильность воздушной фазы, повышая способность к насыщению воздухом и изменяя поверхностное натяжение между фазами [20, 21]. На этапе формирования пузырьков воздуха во фризере происходит их дополнительная стабилизация агломерированным жиром из-за деэмульгирующей способности эмульгаторов. Ранее было установлено влияние белков на поверхностное натяжение на границе раздела фаз, что приводило к увеличению содержания воздуха во взбитом продукте [22, 23]. Процесс размораживания оказывает влияние на дисперсность воздушной фазы [14]. При увеличении температуры структурно-механические показатели быстро трансформируются, воздушная фаза при размораживании взбитых десертов будет изменяться значительно быстрее, чем в период хранения при отрицательных температурах [24].

Учитывая недостаточное количество данных о состоянии воздушной фазы в размороженных десертах, целью данной работы являлось изучение влияния различных технологических факторов на дисперсность воздушной фазы в процессе хранения и размораживания.

Объекты и методы исследования

Материалы. В настоящем исследовании в качестве материалов выступили желатин 180 bloom (Ewald, Германия), низкоэтерефицированный цитрусовый пектин (AndrePectin, Китай), инулин (CosucraGroupeWarcoing S.A., Бельгия), фруктоза (НоваПродукт АГ, Россия), мальтодекстрин (OMNIA NISASTA SAN. TIC. A.S., Турция), молоко сухое обезжиренное (Evolution Food, Россия), концентрат сывороточного белка (Mlekovita, Польша), эмульгатор Е471 (Мир добавок, Китай), йогурт с массовыми долями жира 1,5 % и сухого обезжиренного молочного остатка 9,1 %, крестьянское масло с массовой долей жира 72,5 % и молоко цельное 3,2 % жира, приобретенные в местных магазинах (Россия).

Объекты. В данной работе объектом исследования являлись взбитые кисломолочные десерты в замороженном и размороженном состояниях, нутриентный состав которых представлен в таблице 1. При приготовлении образцов № 1 и 2 в молочную основу вносили 30 % йогурта, образцы № 3–5 изготавливали с использованием заквасочных микроорганизмов и фруктозного сиропа.

Производство десерта. Процесс производства кисломолочного десерта состоял из следующих основных операций: смешивание сырьевых компонентов по рецептуре, подогрев смеси до 45 °С и ее фильтрование, пастеризация смеси при температуре 85 °С с выдержкой 3 мин и ее гомогенизация при температуре 75 °С и давлении на 1 ступени 19,0–21,0 МПа, на второй ступени – 3,0–5,0 МПа. При изготовлении образцов № 1 и 2 молочную основу охлаждали до 20 °С и смешивали с йогуртом в соотношении 7:3. Смеси образцов № 3–5 охлаждали до 40 °С, вносили закваску, состоящую из *Streptococcus thermophilus* и *Lactobacillus delbrueckii* ssp. *Bulgaricus*, сквашивали при 40 °С до титруемой кислотности 100 °Т, охлаждали до 20 °С и смешивали с фруктозным сиропом, приготовленным из фруктозы и воды в соотношении 1:1. Охлажденные смеси фризеровали до температуры десерта –5 °С. Затем десерт фасовали в тару из полистирола объемом 150 мл и выдерживали с целью закаливания при температуре –30 °С 3 дня. Готовый десерт хранили при температуре –18 °С.

Методы. Исследование динамической вязкости смесей для мороженого проводили с использованием реовискозиметра DV2+Pro с программным обеспечением Rheocalc V3 1-1 (BrookField, США) в соответствии с [14].

Таблица 1. Нутриентный состав исследуемых образцов десерта

Table 1. Nutrient composition of the dessert samples

Название нутриента	Содержание нутриентов, %				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Молочный жир	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
Сухой обезжиренный молочный остаток	11,0	11,0	11,0	11,0	11,0
Фруктоза	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
Желатин	1,3	–	1,3	1,3	2,0
Пектин	–	1,3	–	–	–
Эмульгатор	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3
Концентрат сывороточного белка	–	–	–	3,0	–
Инулин	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Мальтодекстрин	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Сухие вещества (всего)	33,1	33,1	33,1	36,1	33,8
Вода	66,9	66,9	66,9	63,9	66,2
Итоговое количество ферментированной части, %	30,0	30,0	80,0	80,0	80,0

Взбитость (%) определяли весовым методом на основе массы одного и того же объема смеси и мороженого согласно [2] по формуле (1):

$$\text{Взбитость} = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100 \qquad (1)$$

где M_1 – масса смеси, г; M_2 – масса мороженого, г; 100 – коэффициент пересчета отношения в проценты, %.

Оценку стабильности воздушной фазы проводили с использованием микроскопа CX41RF (OLYMPUS, Япония) со встроенной фотокамерой и программным обеспечением ImageScope M (CMA, Россия). Для исследования воздушной фазы небольшое количество подготовленного образца наносили на предметное стекло, накрывали покровным стеклом и устанавливали на предметный столик микроскопа. Исследования проводили при увеличении в 100 раз. Для каждого образца проводили 8–10 фотоснимков и определяли диаметр не менее 500 пузырьков воздуха. Рассчитывали средний диаметр пузырьков воздуха ($D_{ср}$), а также их количественную долю до 50 мкм, от 50 до 100 мкм и свыше 100 мкм. Кривые распределения строили в Mathcad (версия 14; PTC, Массачусетс, США) в соответствии с уравнением (2):

$$F(D) = (b \times D)^a \times e^{-b \times D} \qquad (2)$$

Статистическая обработка. Статистическая обработка проводилась с использованием программы Past (версия 4.03; OyvindHammer, Норвегия). Использовали однофакторный дисперсионный анализ (One-way ANOVA) (= 95 %) и применяли тест Tukey для попарного сравнения образцов.

Результаты и их обсуждение

В качестве технологических факторов, потенциально влияющих на показатели качества десерта, рассматривали количество ферментированной основы (образцы № 1 и 2, № 3–5), вид гелеобразователей (образцы № 1 и 2), массовую долю гелеобразователя (образцы № 3 и 5) и дополнительное применение концентрата сывороточного белка (образцы № 3 и 4).

Показатели, влияющие на состояние воздушной фазы в десертах. На первой стадии исследования определяли показатели, оказывающие прямое влияние на состояние воздушной фазы десертов в замороженном и размороженном состояниях: динамическую вязкость смеси и взбитость продукта. При оценке показателя «динамическая вязкость» установлено, что при прочих равных условиях вид гелеобразователя оказывает влияние на этот показатель. Вязкость смеси при использовании пектина в 3,7 раза больше, чем при использовании желатина (образцы № 1 и 2). Это обусловлено способностью пектина в присутствии сахаров формировать вязкие гели. Влияние на динамическую вязкость оказало дополнительное введение концентрата сывороточного белка. Динамическая вязкость образцов № 3 и 4 отличалась в 4,5 раза (табл. 2).

На показателе «взбитость» десертов сказалось присутствие белков как в составе стабилизационной системы, так и в виде дополнительно вносимого концентрата сывороточного белка. Наименьшая способность к насыщению смеси воздухом установлена при использовании гелеобразователя, не являющегося белком (образец № 2), и полисахарида пектина (взбитость 44 %), наибольшая – в образце № 4 при использовании концентрата сывороточного белка (92 %). Массовая доля желатина (белка) также сказалась на способности смеси к насыщению смеси воздухом. Образцы № 3 и 5 с массовыми долями стабилизатора 1 и 1,7 % соответственно отличались по взбитости в 1,3 раза (табл. 2).

Таблица 2. Показатели вязкости и взбитости образцов десерта

Table 2. Indicators of viscosity and overrun in the dessert samples

Показатель	Образец				
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Динамическая вязкость смеси, Па·с	5,2 ± 0,2	19,6 ± 0,3	5,1 ± 0,1	23,0 ± 0,1	5,2 ± 0,2
Взбитость десерта, %	65,5 ± 6,6	44,5 ± 4,5	65,8 ± 6,7	92,0 ± 9,3	86,3 ± 8,7

Таблица 3. Показатели дисперсности воздушных пузырьков в десертах при температуре 4 ± 2 °С после закаливания

Table 3. Indicators of dispersion of air bubbles in the desserts at 4 ± 2°C after hardening

Образец	Время выдержки,ч	$D_{ср}$, мкм	Доля воздушных пузырьков, %		
			до 50 мкм	от 50 до 100 мкм	более 100 мкм
№ 1	0	33,97 ± 1,14	80,6	19,0	0,4
	4	36,36 ± 1,49	77,5	19,7	2,8
	8	40,20 ± 1,85	75,7	20,6	3,7
	16	46,47 ± 3,56	66,4	22,7	10,9
	24	69,93 ± 5,49	35,2	43,1	21,7
№ 2	0	28,93 ± 1,21	88,3	10,8	0,9
	4	30,28 ± 1,19	84,8	14,7	0,5
	8	31,35 ± 1,91	84,3	11,6	4,1
	16	30,37 ± 2,39	85,6	10,6	3,8
	24	32,62 ± 4,72	82,4	10,2	7,4
№ 3	0	37,47 ± 1,33	74,6	23,8	1,6
	4	39,86 ± 1,88	71,8	24,4	3,8
	8	42,93 ± 2,47	73,0	19,5	7,5
	16	54,56 ± 5,07	58,9	25,0	16,1
	24	48,69 ± 4,97	69,2	17,6	13,2
№ 4	0	38,72 ± 1,52	73,9	24,1	2,0
	4	42,81 ± 1,89	65,9	30,3	3,8
	8	33,90 ± 1,55	82,4	14,1	3,5
	16	38,74 ± 2,44	74,0	19,2	6,8
	24	36,23 ± 2,89	81,6	8,9	9,5
№ 5	0	35,43 ± 1,21	79,8	18,6	1,6
	4	36,29 ± 1,45	76,7	21,5	1,8
	8	38,60 ± 1,72	75,4	20,1	4,5
	16	67,68 ± 4,11	37,4	40,7	21,9
	24	44,64 ± 3,31	69,1	20,4	10,5

Состояние воздушных пузырьков в десертах при температуре 4 ± 2° С. Воздушную фазу образцов десерта изучали в замороженном состоянии и при выдерживании при температуре 4 ± 2 °С в течение 4, 8, 16 и 24 ч после закаливания и через 3 месяца хранения в замороженном состоянии. Результаты определения средних размеров воздушных пузырьков и их количественных долей до 50 мкм, от 50 до 100 мкм и более 100 мкм представлены в таблицах 3 и 4.

Данные по влиянию времени выдерживания образцов десертов при температуре 4 ± 2 °С на средний диаметр пузырьков воздуха, приведенные в таблице 3, позволили установить динамику дисперсности воздушных пузырьков при размораживании десерта. В образце № 1 было установлено значимое ($p < 0,05$) изменение среднего диаметра через 8 ч с начала хранения при температуре 4 ± 2 °С.

Размораживание не оказало значимого влияния на средний размер пузырьков воздуха образца № 2 ($p > 0,05$). Количество пузырьков воздуха до 50 мкм снизилось за 24 ч на 6 %, а свыше 100 мкм увеличилось на 6 %. При оценке стабильности воздушных пузырьков в данном образце установлено, что высокое содержание мелких пузырьков воздуха в размороженном десерте не гарантирует высокую стабильность структуры десерта в этом состоянии. Общее содержание воздушной фазы в этом десерте оценено как невысокое. Причиной может быть процесс переконденсации крупных пузырьков в результате дренажа из-за слабой структуры геля пектина.

Таблица 4. Показатели дисперсности воздушных пузырьков в десертах при температуре 4 ± 2 °С через 3 месяца хранения в замороженном виде

Table 4. Indicators of dispersion of air bubbles in the desserts at 4 ± 2°C after 3 months of frozen storage

Образец	Время выдержки, ч	$D_{ср}$, мкм	Доля до 50 мкм, %	Доля от 50 до 100 мкм, %	Доля более 100 мкм, %
№ 1	0	40,60 ± 2,03	74,2	23,2	2,6
	8	43,34 ± 2,34	71,3	23,5	5,2
	24	73,26 ± 7,09	33,2	45,8	21,0
№ 2	0	37,86 ± 1,65	77,8	21,3	0,9
	8	29,72 ± 1,35	88,8	10,6	0,6
	24	23,66 ± 3,75	92,2	3,9	3,9
№ 3	0	38,80 ± 1,84	74,3	22,9	2,8
	8	35,80 ± 2,07	79,6	17,2	3,2
	24	49,29 ± 6,33	70,6	14,6	14,8
№ 4	0	40,22 ± 1,92	70,5	27,1	2,4
	8	31,47 ± 1,68	84,3	13,2	2,5
	24	56,32 ± 6,96	63,1	16,3	20,6
№ 5	0	40,63 ± 1,87	73,0	24,1	2,9
	8	47,08 ± 3,05	68,3	21,9	9,8
	24	76,79 ± 6,92	31,1	39,9	29,0

Установлено увеличение среднего диаметра и доли пузырьков воздуха с размером выше 100 мкм в процессе размораживания в образцах № 3 и 5.

Наиболее стабильна при размораживании воздушная фаза у образца № 4. Разница между наименьшим и наибольшим средним диаметром в процессе размораживания составила 6,5 мкм, между количественными долями до 50 мкм, от 50 до 100 мкм и свыше 100 мкм – 19,5, 21,4 и 7,5 % соответственно.

Провели анализ дисперсности воздушной фазы десертов через 3 месяца хранения с последующим выдерживанием при температуре 4 ± 2 °С в течение 24 ч (табл. 4). При сравнении дисперсности воздушной фазы десертов после закаливания (табл. 3) и через 3 месяца хранения до выдерживания при температуре 4 ± 2 °С установлено, что увеличился диаметр воздушных пузырьков в образцах № 1 на 19,5 %, № 2 – на 30 %, № 5 – на 14,6 %.

При размораживании через 3 месяца хранения образец № 2 имел наименьший средний размер пузырьков воздуха. Размеры пузырьков воздуха образцов № 1 и 3–5 в процессе размораживания увеличивались. Микрофотографии, свидетельствующие об этом, представлены на рисунках 1 и 2.

Как следует из данных, приведенных в таблицах 3 и 4 и на рисунке 2, в процессе хранения десертов при температуре 4 ± 2 °С средний диаметр воздушных пузырьков как уменьшался, так и увеличивался. Это связано с увеличением подвижности размороженной плазмы мороженого и протеканием ранее отмеченных в образце с пектином процессов переконденсации и дренажа воздушных пузырьков. В связи с этим целесообразно провести сравнительный анализ влияния на дисперсность воздушной фазы кисломолочных десертов при хранении при температуре 4 ± 2 °С после замораживания сопоставимых факторов: количества ферментированной основы, дополнительного введения сывороточных белков, разновидности стабилизатора-гелеобразователя и количества стабилизатора белкового происхождения.

Анализ влияния количества ферментированной основы на дисперсность воздушной фазы десертов. Анализ воздушной фазы образцов № 1 и 3 с массовой долей ферментированной основы 30 и 80 % соответственно одного и того же нутриентного состава позволил установить значимость ее влияния на дисперсность воздушной фазы. В процессе размораживания образцов после закаливания были установлены значимые различия ($p < 0,05$) средних диаметров на протяжении всего процесса размораживания. Установлено, что средний диаметр воздушных пузырьков в этих образцах после закаливания заметно не отличался (разница 3,5 мкм). Различия в значении этого показателя через 24 ч выдерживания при температуре 4 ± 2 °С составили 21 мкм. Различия среднего диаметра при температуре хранения 4 ± 2 °С также подтверждаются через 3 месяца хранения десертов в замороженном состоянии. Хотя в замороженном виде через 3 месяца хранения не было установлено значимых различий ($p > 0,05$) среднего диаметра воздушных пузырьков, через 8 и 24 ч этот показатель в образцах № 1 и 3 существенно отличался ($p < 0,05$). Образец № 1 характеризовался значительно не отличающимися размерами средних диаметров воздушных пузырьков через 8 и 24 ч хранения при температуре 4 ± 2 °С после закаливания и через 3 месяца хранения в замороженном состоянии. Различия в дисперсности

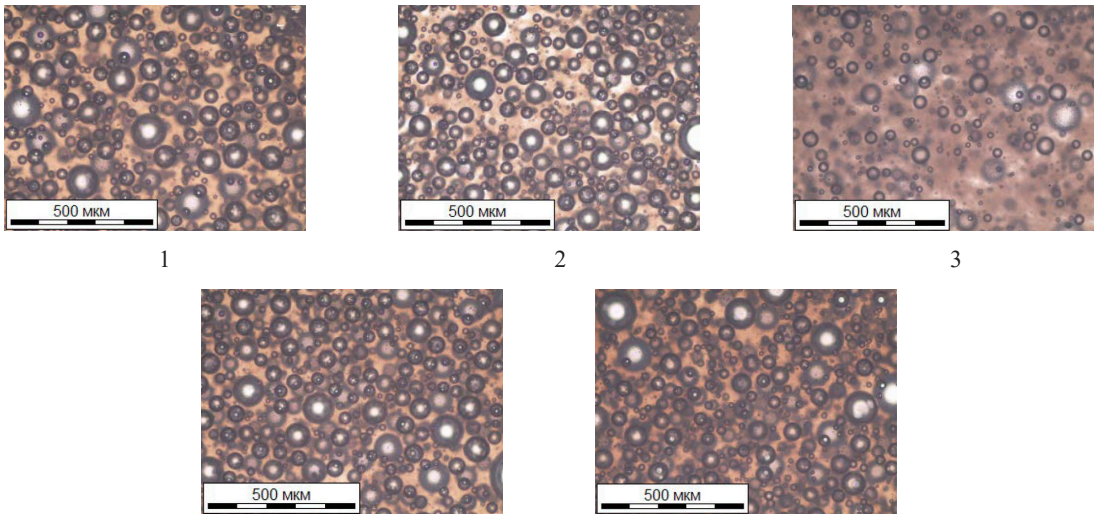

Рисунок 1. Микрофотографии пузырьков воздуха образцов десертов до размораживания через 3 месяца хранения: 1 – с внесением 30 % йогурта с желатином; 2 – с внесением 30 % йогурта с пектином; 3 – заквашенного с желатином; 4 – заквашенного с концентратом сывороточного белка; 5 – заквашенного с увеличенным количеством желатина

Figure 1. Air bubbles before defrosting after 3 months of storage: 1 – with extra 30% yogurt with gelatin; 2 – with extra 30% yogurt with pectin; 3 – fermented with gelatin; 4 – fermented with whey protein concentrate; 5 – fermented with extra gelatin

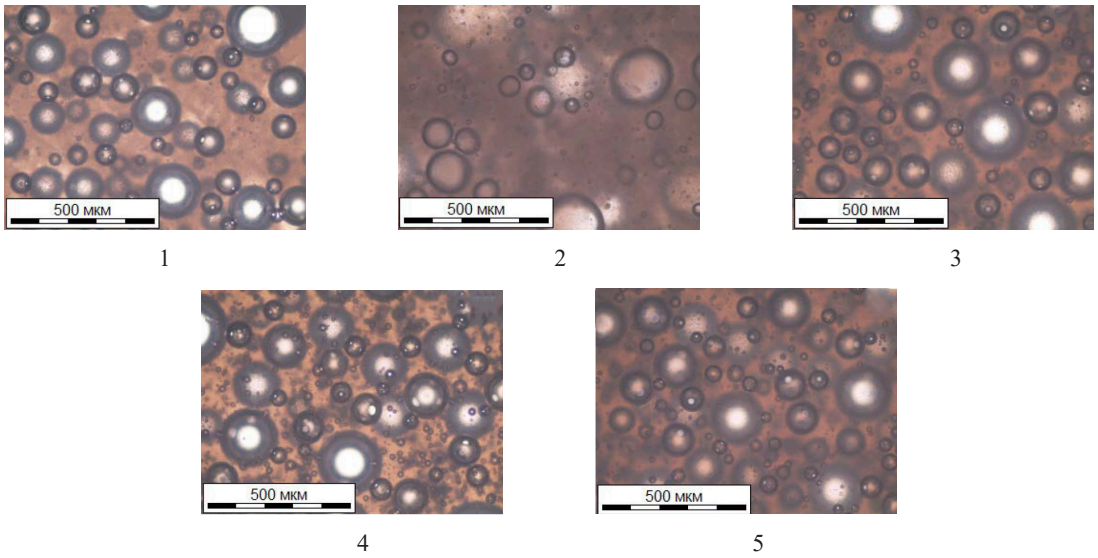

Рисунок 2. Микрофотографии пузырьков воздуха образцов десерта через 24 ч размораживания после 3 месяца хранения: 1 – с внесением 30 % йогурта с желатином; 2 – с внесением 30 % йогурта с пектином; 3 – заквашенного с желатином; 4 – заквашенного с концентратом сывороточного белка; 5 – заквашенного с увеличенным количеством желатина

Figure 2. Air bubbles after 24 h of defrosting after 3 months of storage: 1 – with extra 30% yogurt with gelatin; 2 – with extra 30% yogurt with pectin; 3 – fermented with gelatin; 4 – fermented with a whey protein concentrate; 5 – fermented with extra gelatin

воздушной фазы по показателю «средний размер воздушных пузырьков» могут быть обусловлены влиянием структуры, образуемой белковыми молекулами в присутствии разного количества молочной кислоты в ферментированных основах. При ферментации всей смеси образующаяся сетка из белков формирует более прочную структуру, чем при внесении 30 % кисломолочного продукта. Это способствует более прочному удерживанию воздушных пузырьков в структуре.

Наибольшая стабильность воздушной фазы в десертах с более высоким содержанием ферментированной основы отмечена при определении распределения воздушных пузырьков по размерам по показателю «плотность распределения числа воздушных пузырьков». Количественная доля пузырьков воздуха до 50 мкм в образце № 3 до размораживания после закаливания была выше на 6 %, по сравнению с образцом № 1, через 24 ч различие составило 34 %. Несмотря на то что через 3 месяца хранения доля пузырьков воздуха в образцах № 1 и 3 до начала размораживания не отличалась, через 24 ч хранения при температуре 4 ± 2 °C разница составила 37 %. Это подтверждает положительное влияние массовой доли ферментированной основы на стабильность воздушной фазы (рис. 3).

Анализ влияния дополнительного внесения белка на дисперсность воздушной фазы десертов. Установлено, что внесенный концентрат сывороточного белка в образце № 4 не оказал положительного влияния на дисперсность пузырьков воздуха в процессе их формирования. Значимые отличия в среднем диаметре воздушных пузырьков в образцах № 3 и 4 в процессе хранения при температуре 4 ± 2 °C выявлены после закаливания на всех интервалах. На рисунке 4 представлены сравнительные данные по распределению пузырьков воздуха по размерам образцов с и без концентрата сывороточного белка в замороженном десерте и через 24 ч хранения при температуре 4 ± 2 °C. При размораживании через 3 месяца хранения через 8 ч были установлены значимые различия между образцами. Средний диаметр пузырька воздуха был ниже на 12 мкм в образце № 4.

Наиболее заметно влияние концентрата сывороточного белка на дисперсность воздушной фазы размороженных десертов выявлено через 12 месяцев хранения. В образцах № 3 и 4 определено существенное различие средних диаметров, а также долей пузырьков воздуха до 50 мкм (табл. 5). Полученные результаты позволяют говорить о положительном влиянии концентрата сывороточного белка на стабильность воздушной фазы размороженного взбитого десерта при его длительном хранении.

Анализ влияния вида гелеобразователей на дисперсность воздушной фазы десертов. При температуре хранения 4 ± 2 °C образцов № 1 (с желатином) и 2 (с пектином) после закаливания были установлены значимые различия ($p < 0,05$) между средними размерами пузырьков воздуха на каждом этапе исследования. Изначально в образце с пектином отмечен меньший средний размер пузырьков воздуха. На этапе закаливания между образцами разница в среднем диаметре составила 5 и 37 мкм через 24 ч при температуре хранения 4 ± 2 °C (рис. 5). Значимые различия в значении среднего диаметра воздушных пузырьков в образцах в процессе размораживания установлены через 3 месяца. В замороженном виде этот показатель в образце № 1 был выше на 2,7 мкм, а через 24 ч разница средних размеров составляла уже 49 мкм.

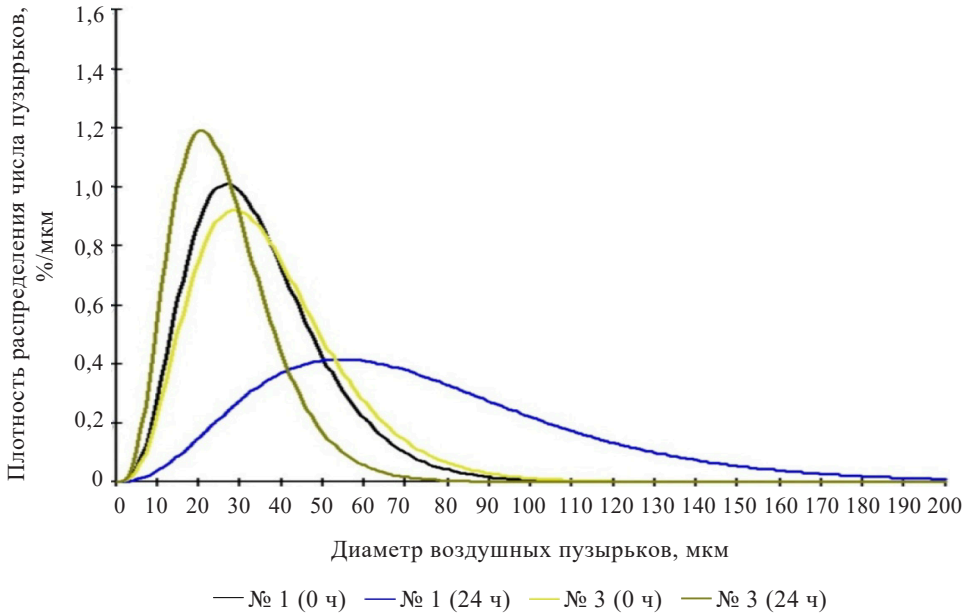

Рисунок 3. Распределение пузырьков воздуха образцов десерта до и после размораживания образцов № 1 и 3 после закаливания

Figure 3. Dispersion of air bubbles before and after defrosting: Sample 1 with extra 30% yogurt with gelatin and Sample 3 fermented with gelatin, after hardening

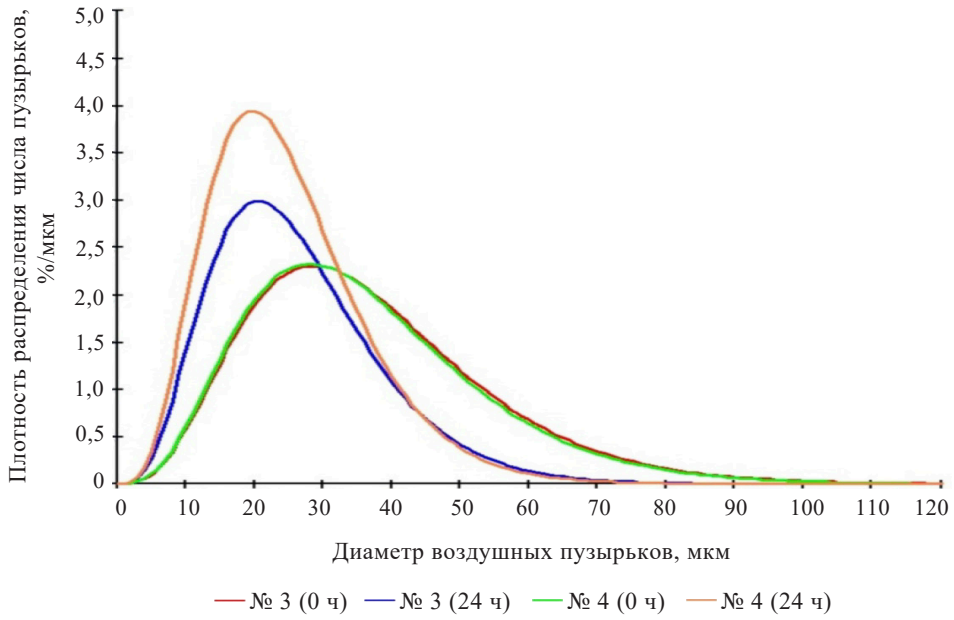

Рисунок 4. Распределение пузырьков воздуха образцов десерта до и после размораживания образцов № 3 и 4 после закаливания

Figure 4. Dispersion of air bubbles before and after defrosting: Sample 3 fermented with gelatin and Sample 4 fermented with a whey protein concentrate, after hardening

Таблица 5. Показатели дисперсности воздушных пузырьков в размороженных десертах при температуре 4 ± 2 °С через 12 месяцев хранения в замороженном виде

Table 5. Dispersion of air bubbles in defrosted desserts at 4 ± 2°C after 12 months of frozen storage

Образец	Время выдержки, ч	$D_{ср}$, мкм	Доля до 50 мкм, %	Доля от 50 до 100 мкм, %	Доля более 100 мкм, %
№ 3	0	34,9 ± 1,9	80,6	17,2	2,2
	8	49,7 ± 3,7	59,7	31,0	9,3
	24	86,0 ± 6,9	25,6	40,3	34,1
№ 4	0	33,6 ± 1,7	81,7	16,5	1,8
	8	42,7 ± 3,2	70,0	22,9	7,1
	24	50,4 ± 4,8	68,8	14,1	17,1

В процессе хранения за 3 месяца средний диаметр воздушных пузырьков образца № 1 увеличился на 6 мкм, а образца № 2 на 9 мкм.

Дисперсионный анализ показал, что при температуре 4 ± 2 °С в течение 8 и 24 ч в образцах десертов после закаливания и через 3 месяца хранения значимых различий в распределении воздушных пузырьков по размерам нет ($p > 0,05$). Несмотря на то что образец № 2 характеризовался меньшим средним диаметром, чем образец № 1 при размораживании, это не свидетельствует о большей стабильности воздушной фазы данного образца из-за протекающего процесса переконденсации. Это объясняет увеличение количества более мелких пузырьков воздуха и смещение графика распределения. Доля пузырьков воздуха до 50 мкм не изменялась при размораживании и составляла в среднем 85 %, а через 3 месяца увеличилась до 92 %. В образце с желатином доля воздушных пузырьков до 50 мкм снизилась через 24 ч размораживания до 35 % после закаливания и до 33 % через 3 месяца хранения.

Анализ влияния количества стабилизатора на дисперсность воздушной фазы десертов. В образцах № 3 и 5 были установлены значимые различия среднего размера пузырьков воздуха при размораживании после закаливания с 4 до 16 ч. Закаленные образцы и через 24 ч размораживания не имели значимых различий по этому показателю ($p > 0,05$) (рис. 6). Было установлено значимое различие образцов десерта при размораживании через 3 месяца хранения через 8 и 24 ч. Средний размер пузырьков воздуха в образце № 5 на 12 мкм выше через 8 ч размораживания и на 27 мкм выше через 24 ч размораживания по сравнению с образцом № 3. Были установлены значимые различия между значениями среднего диаметра в процессе раз-

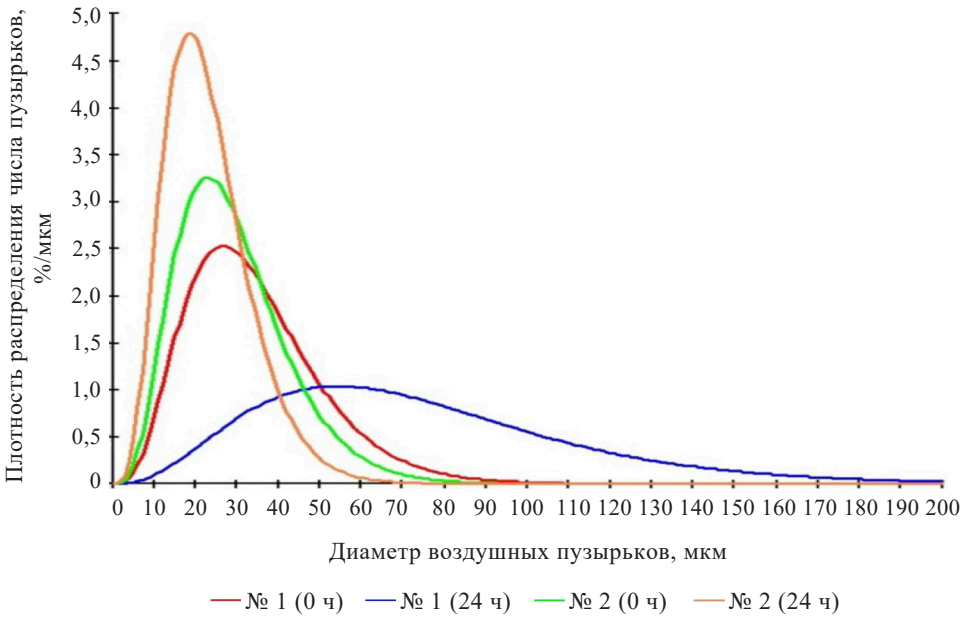

Рисунок 5. Распределение пузырьков воздуха образцов десерта до и после размораживания образцов № 1 и 2 после закаливания

Figure 5. Dispersion of air bubbles before and after defrosting: Sample 1 with extra 30% yogurt with gelatin and Sample 2 with extra 30% yogurt with pectin, after hardening

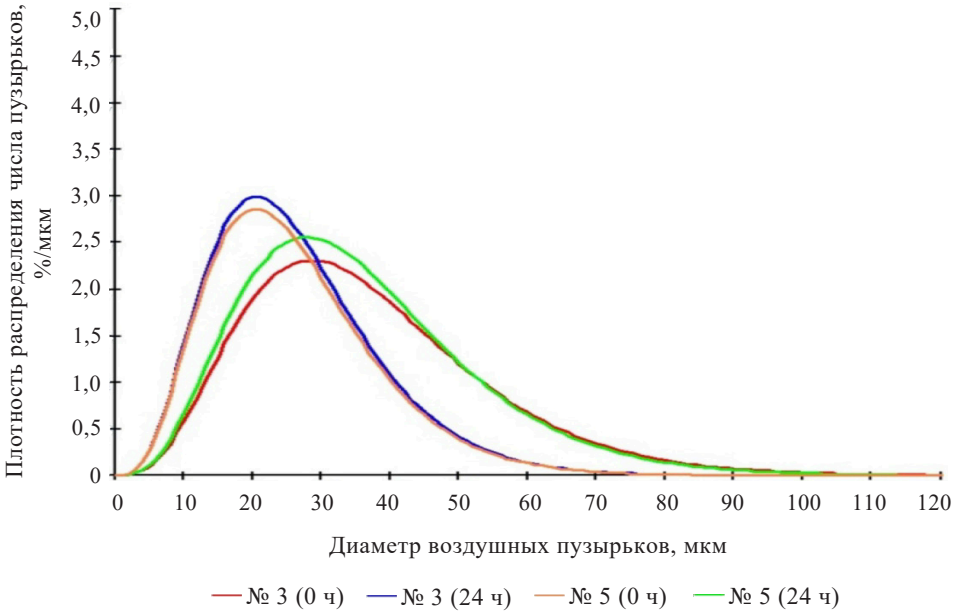

Рисунок 6. Распределение пузырьков воздуха образцов десерта до и после размораживания образцов № 3 и 5 после закаливания

Figure 6. Dispersion of air bubbles before and after defrosting: Sample 3 fermented with gelatin and Sample 5 fermented with extra gelatin, after hardening

мораживания между закаливанием и 3 месяцами хранения. Количественные доли пузырьков воздуха до 50 мкм после закаливания при размораживании были схожи между образцами № 3 и 5. При размораживании через 3 месяца их доля на 40 % ниже в образце № 5 в сравнении с образцом № 3. Это свидетельствует об отрицательном влиянии на дисперсность воздушной фазы повышенной доли желатина. Смещение графиков распределения через 24 ч хранения обусловлено увеличением количества пузырьков воздуха в диапазоне размеров от 10–30 мкм, вызванное эффектом переконденсации.

Выводы

Исследованы показатели качества смесей для кисломолочных взбитых десертов и дисперсность их воздушной фазы в замороженном состоянии и в процессе хранения при температуре 4 ± 2 °С в течение 24 ч. Установлено, что наибольшее влияние на величину динамической вязкости оказывает гелеобразователь пектин. Дополнительно вводимый белок в составе стабилизатора или концентрат сывороточных белков положительно сказывается на вязкости и способности смеси к насыщению воздухом. Установлено положительное влияние на дисперсность и стабильность воздушной фазы кисломолочных десертов в процессе хранения при температуре 4 ± 2 °С в течение 24 ч повышенного содержания ферментированной основы и стабилизатора-гелеобразователя белкового происхождения, а также концентратов сывороточных белков.

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.

Contribution

I.A. Gurskiy reviewed scientific literature, conducted the research, and processed the results. A.A. Tvorogova designed the research, provided scientific guidance, and analyzed the results.

Conflict of interest

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

References/Список литературы

1. 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

2. 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

3. Goff HD, Hartel RW. Ice cream. New York: Springer; 2013. 462 p. https://doi.org/10.1007/978-1-4614-6096-1

4. De la Cruz Martínez A, Delgado-Portales RE, Pérez-Martínez JD, González Ramírez JE, Villalobos Lara AD, Borras-Enríquez AJ, *et al.* Estimation of ice cream mixture viscosity during batch crystallization in a scraped surface heat exchanger. Processes. 2020;8(2). http://doi.org/10.3390/pr8020167

5. Hernández-Parra OD, Ndoye F-T, Benkhelifa H, Flick D, Alvarez G. Effect of process parameters on ice crystals and air bubbles size distributions of sorbets in a scraped surface heat exchanger. International Journal of Refrigeration. 2018;92:225–234. https://doi.org/10.1016/J.IJREFRIG.2018.02.013

6. Pimentel TC, Gomes de Oliveira LI, de Souza RC, Magnani M. Probiotic ice cream: A literature overview of the technological and sensory aspects and health properties. International Journal of Dairy Technology. 2021;75(1):59–76. https://doi.org/10.1111/1471-0307.12821

7. Hartel RW, Rankin SA, Bradley RL. *A 100-Year Review*: Milestones in the development of frozen desserts. Journal of Dairy Science. 2017;100(12):10014–10025. https://doi.org/10.3168/jds.2017-13278

8. Bogdanova EV, Ponomarev AN, Melnikova EI, Samoilenko AV. Isomaltulose in the technology of ice cream form fermented milk. Journal of International Academy of Refrigeration. 2017;(4):24–29. (In Russ.). https://doi.org/10.21047/1606-4313-2017-16-4-24-29

9. Syed QA, Anwar S, Shukat R, Zahoor T. Effects of different ingredients on texture of ice cream. Journal of Nutritional Health and Food Engineering. 2018;8(6):422–435. https://doi.org/10.15406/jnhfe.2018.08.00305

10. El-Zeini HM, Moneir E-AM, 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

11. Syed QA, Shah MSU. Impact of stabilizers on ice cream quality characteristics. MOJ Food Processing and Technology. 2016;3(1):246–252. https://doi.org/10.15406/mojfpt.2016.03.00063

12. Rahim NA, Sarbon NM. *Acacia* honey lime ice cream: Physicochemical and sensory characterization as effected by different hydrocolloids. International Food Research Journal. 2019;26(3):883–891.

13. Bierzuńska P, Cais-Sokolińska D, Yiğit A. Storage stability of texture and sensory properties of yogurt with the addition of polymerized whey proteins. Foods. 2019;8(1). https://doi.org/10.3390/foods8110548

14. 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

15. Sawanoa M, Masuda H, Iyota H, Shimoyamada M. Melting characteristics of ice cream prepared with various agitation speeds in batch freezer. Chemical Engineering Transactions. 2021;87:337–342. https://doi.org/10.3303/CET2187057

16. VanWees SR, Rankin SA, Hartel RW. Shrinkage in frozen desserts. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. 2021;21(3):780–808. https://doi.org/10.1111/1541-4337.12888

17. Koxholt MMR, Eisenmann B, Hinrichs J. Effect of the fat globule sizes on the meltdown of ice cream. Journal of Dairy Science. 2001;84(1):31–37. https://doi.org/10.3168/jds.s0022-0302(01)74448-7

18. Šeremet D, Mandura A, Cebin AV, Martinić A, Galić K, Komes D. Challenges in confectionery industry: Development and storage stability of innovative white tea-based candies. Journal of Food Science. 2020;85(7):2060–2068. https://doi.org/10.1111/1750-3841.15306

19. Chang Y, Hartel RW. Development of air cells in a batch ice cream freezer. Journal of Food Engineering. 2002;55(1):71–78. https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00243-6

20. Loffredi E, Moriano ME, Masseroni L, Alamprese C. Effects of different emulsifier substitutes on artisanal ice cream quality. LWT. 2020;137. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110499

21. Awad RA, Hassan ZMR, Wafaa MS. 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

22. Rinaldi M, Dall'Asta C, Paciulli M, Guizzetti S, Barbanti D, Chiavaro E. Innovation in the Italian ice cream production: effect of different phospholipid emulsifiers. Dairy Science and Technology. 2014;94:33–49. https://doi.org/10.1007/s13594-013-0146-1

23. Rusoke-Dierich O. Diving medicine. Cham: Springer; 2018. 440 p. https://doi.org/10.1007/978-3-319-73836-9

24. 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