

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-3-370-377>



Поступила 28.05.2025

Поступила после рецензирования 13.08.2025

Принята в печать 18.08.2025

© Ландиховская А. В., Творогова А. А., Королев И. А., 2025

<https://www.fsjour.com/jour>

Научная статья

Open access

ВЛИЯНИЕ ЗАМЕНИТЕЛЕЙ САХАРОЗЫ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА МОРОЖЕНОГО В ПРОЦЕССЕ ПРОИЗВОДСТВА И ХРАНЕНИЯ

Ландиховская А. В.*, Творогова А. А., Королев И. А.

Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АННОТАЦИЯ

фруктоза, трегалоза, полиолы, инулин, структура, теплофизические свойства

Избыточное потребление сахара является общемировой проблемой системы здравоохранения. Для полной замены сахара в мороженом нужно использовать 14–16% других ингредиентов, что может отразиться на показателях качества готового продукта. Целью исследований являлось проведение в процессе производства и хранения сравнительной оценки показателей качества мороженого традиционного и с заменой сахара на композиции заменителей, снижающих гликемический индекс готового продукта. Использовались современные методы исследований: химические, структурно-механические, микроструктурные и дифференциальной сканирующей калориметрии. Объектами исследований являлись образцы мороженого с заменой сахара на композицию мальтита и инулина, эритрита и инулина, фруктозы и трегалозы (в соотношении 4:3 и 3:4), фруктозы или трегалозы с инулином. Установлено, что в экспериментальных образцах мороженого по сравнению с контрольным (с содержанием сахара 14%) гликемический индекс уменьшился в 1,4–4,5 раза. При замене сахара на композицию инулина и полиолов калорийность мороженого снизилась на 30%. Значения вязкости смеси в образцах с эритритом и инулином, а также с фруктозой и трегалозой (при соотношении 3:4) не отличались от контрольного образца. Наиболее мягкая консистенция среди опытных образцов отмечена при доминировании фруктозы в композиции с трегалозой, наиболее твердая — у образца с эритритом и инулином. Исследования теплофизических свойств мороженого показали, что применение эритрита в композиции с инулином вызывает существенное снижение температур стеклования, замораживания и криоскопической температуры, что отрицательно сказывается на консистенции продукта. Теплофизические свойства, наиболее близкие к показателям контрольного образца мороженого с сахаром, демонстрировали образцы с мальтитом и инулином и образцы с трегалозой и инулином. Установлено, что в наибольшей степени снизилась дисперсность кристаллов льда в образцах с мальтитом и инулином, а также с фруктозой и инулином: размеры кристаллов через 3 месяца хранения увеличились на 15 и 21% соответственно. Установлено, что внесение фруктозы и инулина, фруктозы и трегалозы увеличивает продолжительность индукционного периода окисления жира на 11 ч по сравнению с контрольным образцом. Исследования показали, что полная замена сахара на ингредиенты с отличной молекулярной массой, в частности на эритрит и инулин, приводит к заметному изменению потребительских и технологических свойств продукта.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию FGUS-2025-0003 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 28.05.2025

Accepted in revised 13.08.2025

Accepted for publication 18.08.2025

© Landikhovskaya A. V., Tvorogova A. A., Korolev I. A., 2025

Available online at <https://www.fsjour.com/jour>

Original scientific article

Open access

INFLUENCE OF SUCROSE SUBSTITUTES ON THE QUALITY INDICATORS OF ICE CREAM IN THE PROCESS OF PRODUCTION AND STORAGE

Anna V. Landikhovskaya*, Antonina A. Tvorogova, Igor A. Korolev

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

KEY WORDS:

fructose, trehalose, polyols, inulin, structure, thermophysical properties

ABSTRACT

Overconsumption of sucrose is a global problem in the health care system. In order to replace it in ice cream completely, it is necessary to use 14–16% of other ingredients which can affect quality indicators of a finished product. The aim of the study was a comparative assessment of quality indicators of traditional ice cream and ice cream with sucrose replaced by a composition of substitutes that reduce the glycemic index of the finished product. The study was carried out during the production process and storage. Modern research methods were used: chemical, structural-mechanical, microstructural and differential scanning calorimetry. Ice cream samples with sucrose replaced by a composition of maltitol and inulin, erythritol and inulin, fructose or trehalose (in a ratio of 4:3 and 3:4), fructose or trehalose with inulin were the objects of the study. It has been established that the glycemic index decreased by 1.4–4.5 times in the experimental ice cream samples compared to the control (14% sucrose). With replacement of sucrose by the composition of inulin and polyols, the caloric content of ice cream decreased by 30%. The viscosity values of the mixtures with erythritol, as well as with fructose and trehalose (with a ratio of 3:4) were not different from the control sample. Among the experimental samples, the softest consistency was noticed with the domination of fructose in the composition with trehalose, and the hardest one was in the sample with erythritol and inulin. Studies of thermophysical properties of ice cream have shown that the use of erythritol in the composition with inulin causes a significant decrease in the glass transition, freezing and cryoscopic temperatures, which negatively affects the consistency of the product. The samples with maltitol and inulin, and the samples with trehalose and inulin demonstrated thermophysical properties that were the closest to the control sample of ice cream. It has been established that the dispersion of ice crystals decreased most in the samples with maltitol and inulin, as well as with fructose and inulin: crystal sizes increased by 15 and 21%, respectively, after 3 months of storage. It has been found that the introduction of fructose and inulin, fructose and trehalose increases the duration of the induction period of fat oxidation

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ландиховская, А. В., Творогова, А. А., Королев, И. А. (2025). Влияние заменителей сахара на показатели качества мороженого в процессе производства и хранения. *Пищевые системы*, 8(3), 370–377. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-3-370-377>

FOR CITATION: Landikhovskaya, A. V., Tvorogova, A. A., Korolev, I. A. (2025). Influence of sucrose substitutes on the quality indicators of ice cream in the process of production and storage. *Food Systems*, 8(3), 370–377. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2025-8-3-370-377>

by 11 hours in comparison with the control sample. On the whole, the studies have shown that full replacement of sucrose with ingredients having different molecular weight, in particular erythritol and inulin, leads to a noticeable change in the consumer and technological properties of the product.

FUNDING: The article is prepared as part of the research under the State Assignment No. FGUS-2025-0003 of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences.

1. Введение

За последние пятьдесят лет общемировой уровень потребления сахара возрос более чем в 3 раза, а избыток добавленного сахара в настоящее время составляет более 500 калорий в день. Высокое содержание добавленных сахаров в рационе питания приводит к развитию неинфекционных заболеваний, таких как ожирение, сахарный диабет, гипертония, сердечно-сосудистые заболевания и кариес [1]. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) рекомендует снизить среднее потребление добавленных сахаров до уровня, не превышающего 10 % от общей калорийности дневного рациона, и в дальнейшем до 5 %, что обеспечит дополнительные преимущества для здоровья [2–4].

Сахара, вносимые дополнительно в состав таких продуктов, как мороженое, молочные десерты, выпечка, сладкие булочки, фруктовые напитки и др., относятся к добавленным сахарам, в отличие от натуральных сахаров, содержащихся в овощах и фруктах. Сахара играют важную роль в технологии продуктов питания: влияют на вкус, аромат, вязкость, стабильность продукта, снижают температуру заморозки, оказывают консервирующее действие, а также участвуют в реакции Майяра [5,6].

Мороженое и замороженные десерты — сладкий взбитый замороженный продукт. На долю сахарозы приходится не менее 35 % от общего содержания сухих веществ в классическом мороженом и более 50 % в десертах без добавления молока. В мороженом и замороженных десертах с использованием сухого молока обязательно присутствует молочный сахар — лактоза, избыток которой в процессе хранения мороженого приводит к ее нежелательной кристаллизации [7].

Согласно современным трендам развития пищевой промышленности, перед производителями продуктов питания, содержащих сахара, стоит задача по корректировке рецептурного состава смесей за счет использования альтернативных источников сладости. Для снижения доли добавленных сахаров производители продуктов питания уменьшают их содержание, а также заменяют низкокалорийными углеводами или высокоинтенсивными подсластителями [8,9]. В 2018 году в Австралии, Мексике, Новой Зеландии и США не менее 5 % продуктов содержали хотя бы один подсластитель. В Чили этот показатель достиг 55,5 %: подсластители добавлялись при изменении рецептуры, чтобы избежать маркировки «высокое содержание сахара» на этикетке [4].

Популярными заменителями сахарозы в настоящее время являются искусственные (аспартам, сахарин, сукралоза) и натуральные (экстракты стевии и архата) подсластители, играющие важную роль в производстве продуктов низкокалорийных и с низким содержанием сахара. Данные подсластители имеют различную термическую стабильность в зависимости от природы происхождения [10]. В Европе к применению разрешено 19 низко- и бескалорийных подсластителей. В исследовании Samaniego-Vaesken и соавторов [11] при оценке имеющихся на рынке Испании продуктов питания и напитков установлено, что большая доля используемых подсластителей обнаруживается в диетических напитках (100 %), диетических сладостях (89 %), соевых напитках (45 %), йогурте и ферментированном молоке (18 %). Существуют исследования, которые показывают, что избыточное потребление подсластителей может негативно воздействовать на организм человека [12].

Инулин может использоваться в качестве заменителя сахарозы при создании продуктов питания. Он представляет собой полимер, который на 97 % состоит из остатков фруктозы. В зависимости от длины цепи инулин может быть как олигосахаридом, так и полисахаридом [13]. Инулин является пищевым волокном, хорошо растворяется в воде, способствует росту благоприятной микрофлоры в кишечнике. Он имеет низкую калорийность (1–1,5 ккал/г), что составляет 25–35 % от калорийности легко усваиваемых углеводов. Уровень сладости инулина составляет приблизительно 10 % от сладости сахарозы [14]. Гликемический индекс нативного инулина имеет значение 14, а коммерческого инулина с длинной цепочкой — 5 [15].

Ahmed и соавторы [16] заменяли сахарозу в мороженом на натуральный подсластитель — стевию. Авторы отметили, что такая замена позволяет употреблять мороженое людям с сахарным диабетом. Velotto с другими исследователями [17] при изготовлении традици-

онного и веганского мороженого использовали семена чиа и стевию, что положительно сказалось на реологических и органолептических показателях. В исследовании [18] приводятся результаты органолептической оценки мороженого с использованием различных типов стевииолигосахаридов (ребаудиозиды А, D и М) для нивелирования горького вкуса стевии. В контрольном образце содержание сахарозы составляло 14 %. Ребаудиозид А обладал выраженным химическим привкусом, самый приемлемый вкус был у образцов с ребаудиозидами D и М. Кроме того, при использовании ребаудиозида профиль сладости продукта был аналогичен достигаемому в мороженом с сахарозой. Авторы работы [19] отметили наиболее удачные композиции из 12 используемых подсластителей в мороженом, оцененном 106 потребителями (60 % сахарозы + 20 % стевииозида + 20 % эритрита и 60 % сахарозы + 10 % стевииозида + 30 % эритрита), поскольку они обеспечивали наибольшую схожесть со сладостью сахарозы. Авторы работы [20] заменяли сахарозу в мороженом стевией и стевииозидом для снижения гликемического индекса и гликемической нагрузки.

В исследовании de Medeiros и соавторов [21] изучены шесть образцов шоколадного мороженого, различающихся по наличию лактозы и видом используемого подсластителя (сахароза, сукралоза и стевия). Оценивали интенсивность и продолжительность сладкого вкуса, сенсорное восприятие потребителями. Авторы сделали вывод, что наиболее шоколадный и сладкий вкус характерен для традиционных видов мороженого с сахарозой, образец со стевией и без лактозы получил наименьшие баллы, что, по мнению авторов, обусловлено продолжительным горьким вкусом. Образец со стевией при наличии лактозы характеризовался повышенной интенсивностью восприятия шоколадного вкуса среди потребителей. Образцы с сукралозой не имели существенных различий по сравнению с мороженым с сахарозой.

В качестве заменителя сахара Yeboah и соавторы использовали неочищенный пальмовый сахар [22]. Авторы изготовили образцы мороженого согласно рецептуре, разработанной с использованием компьютерного моделирования. По результатам дегустационной оценки отмечено, что неочищенный сахар не влияет на восприятие сладости в мороженом.

Существует решение по производству кисломолочного мороженого, где в качестве заменителя сахарозы использована изомальтулоза [23]. Авторы применяли изомальтулозу с целью снижения гликемического индекса готового продукта и сделали вывод о целесообразности использования этого углевода в производстве кисломолочного мороженого. Однако исследователи привели рецептуру, в соответствии с которой продукт содержит более 20 % СОМО (в том числе лактозы не менее 10,8 %) и 27 % изомальтулозы. При указанном содержании сахаров молочнокислые микроорганизмы не развиваются из-за высокого осмотического давления. Кроме того, содержание дисахаридов 37,8 % приведет к существенному снижению криоскопической температуры. Таким образом, вопрос применения изомальтулозы в производстве кисломолочного мороженого в эквивалентных по сладости для сахарозы количествах остается открытым.

В работе [24] проведена органолептическая оценка образцов мороженого по 22 дескрипторам, включая сладость. Оценивали три образца мороженого с заменой сахарозы и пониженным содержанием жира. В составе образца 1 использованы сорбитол, аспартам, цикламат натрия; 2 — сорбитол, сукралоза; 3 — сорбитол, лактилол, аспартам. Сравнение проводили с традиционными видами мороженого того же производителя. Традиционные виды мороженого характеризовались более сладким вкусом, что, по мнению авторов, обусловлено неэквивалентно подобранным уровнем сладости используемых подсластителей. Образцы 1 и 3 с аспартамом и цикламатом натрия имели горькое послевкусие, а образец 2 характеризовался большей интенсивностью сладкого послевкусия, что обусловлено использованием сукралозы.

Rathod в работе [25] исследовал свойства мороженого из буйволиного молока с различным соотношением аспартама (3–7 мг/кг), сорбита (7–11 %) и мальтодекстрина (8–12 %). Проведены анализ и прогнозирование оптимального соотношения указанных компонентов. Этому условию соответствовала композиция: 0,07 % аспартама, 5,87 % сорбита и 4,24 % мальтодекстрина.

Таким образом, в настоящее время для снижения количества добавленной сахарозы и подслащивания продуктов питания производители все чаще используют подсластители и заменители, и их композиции в значительном (до 15%) количестве, что может вызывать формирование отличных показателей качества. Цель исследования — проведение в процессе производства и хранения сравнительной оценки показателей качества мороженого традиционного и с заменой сахарозы на композиции заменителей, снижающих гликемический индекс готового продукта: фруктозы и трегалозы; инулина с полиолами (эритритом и мальтитом); инулина с трегалозой/фруктозой.

2. Объекты и методы

В настоящее время существует несколько способов производства мороженого без добавленной сахарозы. В связи с этим интерес представляет исследование показателей качества мороженого с различными заменителями сахарозы по сладости и сухому веществу. Учитывая, что сахарозу можно заменять другими сахарами (фруктозой и трегалозой), полиолами (мальтитом, эритритом и др.), пищевым волокном инулином, используемыми в количестве 3–14%, в мороженом возможно формирование показателей качества, отличных от показателей продукта с сахарозой. Для сравнительной оценки показателей качества выработаны образцы мороженого с заменой сахарозы на полиолы и пищевые волокна (образцы 1 и 2); фруктозу и трегалозу (образцы 3 и 4); фруктозу и пищевое волокно (образец 5); трегалозу и пищевое волокно (образец 6) в соответствии с составом, представленным в Таблице 1. В образцах 1, 2 и 6 необходимый уровень сладости (соответствующий 14% сахарозы) достигался путем дополнительного внесения стевииозида. Образец 7к — контрольный образец традиционного сливочного мороженого с использованием сахарозы в количестве 14%.

Таблица 1. Состав образцов
Table 1. Composition of the samples

Показатели	Образцы						
	1	2	3	4	5	6	7к
Общее содержание сухих веществ, %, не менее, в том числе:	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0	34,0
молочного жира	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
СОМО	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0	10,0
сахарозы	–	–	–	–	–	–	14,0
эритрита	8,0	–	–	–	–	–	–
мальтита	–	8,0	–	–	–	–	–
инулина	6,0	6,0	–	–	6,0	6,0	–
фруктозы	–	–	8,0	6,0	8,0	–	–
трегалозы	–	–	6,0	8,0	–	8,0	–
стевииозида	0,027	0,023	–	–	–	0,035	–
стабилизатора-эмульгатора	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47	0,47

2.1. Объекты исследования

В качестве объектов исследования выбраны следующие ингредиенты, заменяющие сахарозу по уровню сладости и сухому веществу: фруктоза (Galat, Израиль), трегалоза (Hayashibara Co., Япония), эритрит (ООО «Фармапол», Россия), мальтит (ООО «Питэко», Россия), инулин (Cosucra Groupe Warcoing S. A., Бельгия), стевииозид (ООО «НОВАПРОДУКТ АГ», Россия).

Для производства мороженого с массовой долей молочного жира 10% использовали следующее сырье: сухое обезжиренное молоко (ГОСТ Р 52791-2007¹, АО «Учебно-опытный молочный завод», Россия), масло сладко-сливочное несоленое Традиционное (ГОСТ 32261-2013², АО «Учебно-опытный молочный завод», Россия), сахар белый (ГОСТ 33222-2015³, ТМ «Русский сахар», Россия), стабилизационная система Cremodan 334 VEG (Danisco, Дания).

2.2. Технологический процесс

Производство мороженого с массовой долей жира 10% включало в себя все стадии технологического процесса: смешивание сырьевых компонентов, фильтрование смеси, пастеризация, гомогенизация,

созревание, фризирование и закаливание. Температура образцов мороженого при выгрузке из фризера отличалась. Это обусловлено различиями молекулярных масс сахаров и полиолов, что сказывается на криоскопической температуре смеси.

Фризирование смеси проводили на фризере периодического действия LABO 8/12 XPL P (Carpigiani, Италия) с предварительно установленными автоматическими параметрами консистенции (до достижения уровня 80 в режиме GELATO).

Выработанные образцы мороженого были расфасованы в полимерную упаковку объемом 200 мл, хранились в одинаковых условиях при температуре минус (20 ± 2) °C. Рекомендуемый срок хранения мороженого по ГОСТ 31457-2012⁴ при температуре не выше минус 18 °C — не более 6 месяцев. Исследования дисперсности структурных элементов проводили после закаливания через 3 и 6 месяцев хранения, поскольку данные периоды характеризуются наиболее возможными изменениями. Продолжительность индукционного периода образцов мороженого оценивали через 8 месяцев для понимания изменений жировой фазы в образцах мороженого с различными подсластителями после рекомендованного срока хранения.

2.3. Методы исследований

Динамическую вязкость смесей определяли на вискозиметре DV-II + PRO с программным обеспечением Rheocalc V3 1–1 (Brookfield, США). Измерения проводили при поддержании температуры образца на уровне $4 \pm 0,5$ °C.

Твердость определяли на текстурометре LFRA Texture Analyzer с программным обеспечением TexturePro Lite v1.1 (Brookfield, США). Перед измерением показателей образцы выдерживали в морозильной камере (Vestfrost, Дания) при температуре минус (20 ± 2) °C для достижения одинаковой стабильной температуры.

Кислотность в мороженом определяли по ГОСТ 3624-92⁵.

Взбитость определяли в соответствии с приложением Г к ГОСТ 31457-2012.

Криоскопическую температуру смесей мороженого $t_{кр}$, °C, определяли с использованием осмометра-криоскопа ОСКР-1 («Киви», Россия) [6].

Термоустойчивость образцов мороженого определяли по методике, описанной авторами статьи [26].

Состояние воздушной фазы и кристаллов льда и их дисперсность оценивали с использованием микроскопа CX-41 (Olympus, Япония) и программного обеспечения ImageScope M (Россия). Для сохранения кристаллов льда использовали систему Пельтье PE120 (Linkam, Великобритания), позволяющую проводить исследования при поддержании температуры предметного стекла на уровне минус 18 °C. Размер воздушных пузырьков устанавливали методом автоматизированного подсчета, описанного в статье [27].

Измерение удельной изобарной теплоемкости (C_p , кДж/(кг·°C)), температуры стеклования (t_{gm} , °C), энтальпии фазовых переходов ($\Delta H_{ф.п.}$, кДж/кг) и доли вымороженной влаги (ω_3), температуры замерзания (эвтектической) (t_3 , °C) проводили на дифференциальном сканирующем калориметре DSC204 F1 (NETZSCH, Германия) путем последовательных экспериментов с пустыми тиглями, эталоном Al_2O_3 (корунд) (NETZSCH, Германия) и исследуемым образцом со скоростью нагрева измерительной ячейки $\beta = 10$ °C/мин по методике [28].

Индукционный период окисления жиров измеряли с использованием анализатора окислительной стабильности OXITEST (Velp Scientifica, Италия) с программным обеспечением OXISoft (Velp Scientifica, Италия). Масса пробы образцов мороженого составляла 30 г, рабочее давление в камере реактора — 6 бар, температура — 90 °C.

Обработку данных проводили с использованием программ Microsoft Excel, Statistica 10 и Past 4.03. Для оценки статистически значимых различий между образцами применяли однофакторный дисперсионный анализ ANOVA. Для попарного сравнения выборок применяли апостериорный критерий Тьюки. Статистически значимый результат оценивали при $P \leq 0,05$.

3. Результаты и обсуждение

В Таблице 2 представлены данные по пищевой ценности и гликемическому индексу выработанных образцов.

Замена сахарозы на полиолы и инулин (образцы 1 и 2) привела к снижению количества добавленных сахаров в 3,5 раза. Калорийность мороженого при замене сахарозы на композицию инулина и полиолов (образцы 1 и 2) снизилась на 30%, на инулин и фруктозу

¹ ГОСТ Р 52791-2007 «Консервы молочные. Молоко сухое. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2008. — 15 с.

² ГОСТ 32261-2013. «Масло сливочное. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2019. — 21 с.

³ ГОСТ 33222-2015. «Сахар белый. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2019. — 16 с.

⁴ ГОСТ 31457-2012. «Мороженое молочное, сливочное и пломбир. Технические условия». М.: Стандартинформ, 2014. — 27 с.

⁵ ГОСТ 3624-92. «Молоко и молочные продукты. Титриметрические методы определения кислотности». М.: Стандартинформ, 2008. — 8 с.

Таблица 2. Пищевая ценность и гликемический индекс образцов
Table 2. Nutritional value and glycemic index of the samples

Показатели	Образцы						
	1	2	3	4	5	6	7к
Пищевая ценность в 100 г продукта							
Белок, г, не менее	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
Жир, г, не менее, в том числе молочного жира	10,3 10,0	10,3 10,0	10,3 10,0	10,3 10,0	10,3 10,0	10,3 10,0	10,3 10,0
Углеводы, г, не менее	5,5	5,5	18,8	18,8	13,1	13,1	19,5
Пищевые волокна, г, не менее	6,0	6,0	–	–	6,0	6,0	–
Энергетическая ценность, ккал/кДж, не менее	128,4/532,8	128,6/533,6	181,5/758,5	181,5/758,5	158,8/662,0	158,8/662,0	184,3/770,4
Гликемический индекс							
Расчетный гликемический индекс	14	29	43	48	22	44	62

или трегалозу (образец 5 и 6) — на 13%. Использование 6% инулина в образцах 1, 2, 5 и 6 позволяет относить их к категории продукции с высоким содержанием пищевых волокон. Но из-за отсутствия в этих образцах 14% сахаров их нельзя относить к категории «сливочное мороженое».

Помимо калорийности, замена сахарозы в мороженом приводит к изменению расчетных значений гликемического индекса. В образцах с заменой сахарозы на полиолы и инулин (1 и 2) этот показатель снизился в 2–4,5 раза, а в образце с инулином и фруктозой (5) — в 2,8 раза.

В Таблице 3 представлены физико-химические показатели, установленные в смесях и мороженом.

Значения динамической вязкости смеси в образцах 1 и 4 были на уровне показателя смеси для контрольного образца. Наибольшей вязкостью характеризовался образец 6 с использованием инулина и трегалозы. Значение этого показателя в смеси образца 6 было на 52% больше, чем в контрольном. В образцах 5, 2 и 3 повышение вязкости по сравнению с контрольным образцом было менее выражено — на 36, 19 и 14% соответственно. Более высокая вязкость в образцах 2, 5 и 6, возможно, обусловлена присутствием инулина. Характерная для растворов инулина вязкость зависит от межмолекулярных взаимодействий, в том числе и с растворителем [13]. Можно предположить, что инулин лучше взаимодействует с моно- и дисахаридами, чем с полиолами.

Наиболее мягкая консистенция среди опытных образцов отмечена при совместном использовании фруктозы (8%) и трегалозы (6%) (образец 3), наиболее твердая — у образца с эритритом и инулином (образец 1). Достижение высокой твердости в образце с эритритом подтверждено также в исследовании Moriano в соавторстве [29]: образец с 20% сахарозы имел твердость 4 Н, а образец с 50% заменой эритритом — 16,6 Н. Авторы этой работы также отметили высокую твердость в образце мороженого с трегалозой, при 50% замене она составила 3,7 Н. Различия со значениями, полученными в нашей ра-

боте, возможно, обусловлены разным содержанием сухих веществ в продукте, объемом самих подсластителей, а также составом мороженого.

Все образцы мороженого характеризовались хорошей способностью к насыщению воздухом. Наибольшая взбитость среди исследованных рецептур смесей достигнута у образца мороженого с трегалозой и инулином (образец 6). Наиболее низкая взбитость установлена в образце с эритритом и инулином (образец 1). В исследовании Kalicka и соавторов [30] при внесении эритрита взбитость мороженого снижалась. Авторы получили данные, что в образце с содержанием сахарозы 15% взбитость была 49%, в образце с 7,5% сахарозы и 8,38% эритрита — 38%, а в образце с 7,5% сахарозы и 8,38% мальтита — 42%. В нашей работе образец мороженого с мальтитом также имел взбитость выше, чем образец с эритритом. Более высокие значения взбитости в наших образцах с полиолами, возможно, обусловлены внесением инулина в качестве восполнителя сухих веществ, а не сахарозы, как в работе [30].

Особенности замены сахарозы на указанные композиции полиолов, пищевых волокон, фруктозы и трегалозы подтвердили также исследование теплофизических свойств мороженого. Установлено, что применение эритрита способствует существенному снижению температур стеклования и замерзания смесей для мороженого (Таблица 4), что отражается в виде соответствующего смещения в область более низких температур кривой теплоемкости образца 1 (Рисунок 1). Пики плавления влаги в исследованных образцах не показаны на Рисунок 1, поскольку данные теплоемкости образцов в зоне фазового перехода не имеют практической ценности для выполнения расчетов, а вместо них при расчете тепловых процессов используются данные по энтальпии фазовых переходов ($\Delta_{ф.н.}$, кДж/кг) и зависимости количества вымороженной влаги от температуры образца. При этом наиболее близкие теплофизические свойства к показателям контрольного образца мороженого с сахарозой (7к) демонстрировали образцы с полной

Таблица 3. Физико-химические показатели смеси и мороженого
Table 3. Physico-chemical indicators of the mixture and ice cream

Показатели	Образцы						
	1	2	3	4	5	6	7к
Динамическая вязкость смеси при градиенте сдвига 0,67 с ⁻¹ , мПа·с	509±9,1 ^a	596±5,2	571±7,4	528±19,0 ^a	682±36,9	764±15,6	500±11,3 ^a
Условная твердость, Н	29,9±3,7	4,3±1,0 ^{ab}	1,8±0,5	4,6±1,1 ^{ab}	3,6±0,9 ^a	5,8±1,6 ^b	2,9±1,0
Титруемая кислотность, °Т	23,9	23,6	22,5	23	22,5	22	23
Температура мороженого при выгрузке из фризера, °С	-8,0	-4,6	-5,7	-6,0	-6,1	-5,5	-4,9
Доля вымороженной влаги после фризера, %	58	53	48	52	53	60	53
Взбитость, %	46	51	50	53	53	61	52

Примечание: значения, отмеченные в одной строке одинаковой буквой, не имеют статистически значимых различий ($P > 0,05$).

Таблица 4. Результаты исследований теплофизических свойств образцов мороженого
Table 4. Results of the study of thermophysical properties of the ice cream samples

Образец	t_{cm} , °С	t_3 , °С	$\Delta_{ф.н.}$, кДж/кг	Cp_{23} , кДж/(кг·°С)	$t_{кр}$, °С	ω_3
1	-68,8±0,35	-45,3±0,35	198±12	3,56±0,15	-3,62±0,1	0,89±0,055
2	-47,3±0,35	-31,8±0,35	202±12	3,52±0,15	-2,25±0,1	0,91±0,055
3	-53,0±0,35	-37,0±0,35	190±11	3,47±0,15	-3,03±0,1	0,86±0,054
4	-51,4±0,35	-35,1±0,35	192±11	3,51±0,15	-2,89±0,1	0,86±0,054
5	-51,0±0,35	-34,8±0,35	188±11	3,41±0,15	-2,87±0,1	0,85±0,054
6	-43,7±0,35	-30,3±0,35	196±12	3,50±0,15	-2,17±0,1	0,88±0,054
7к	-46,3±0,35	-32,8±0,35	194±11	3,41±0,15	-2,31±0,1	0,87±0,054

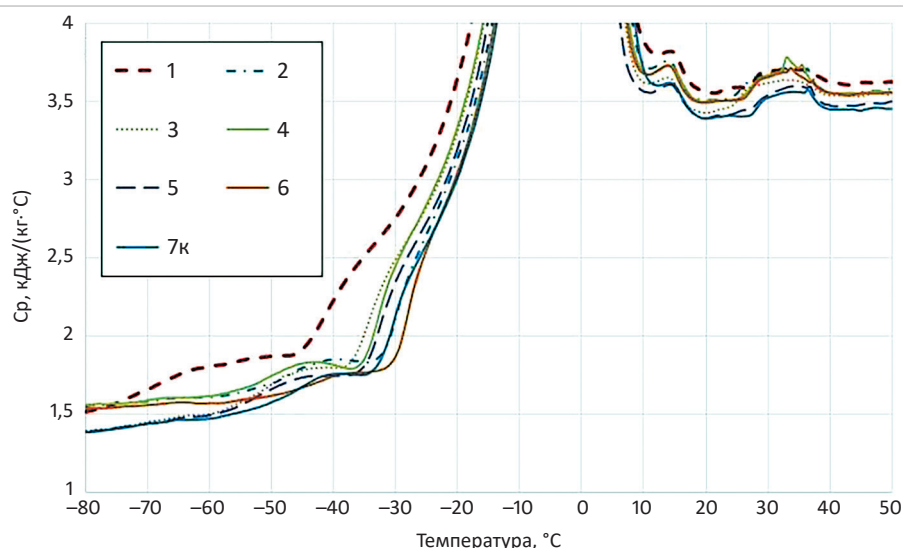


Рисунок 1. Эффективная удельная изобарная теплоемкость образцов мороженого
Figure 1. Effective specific isobaric heat capacity of the ice cream samples

заменой на мальтит и инулин, а также инулин и трегалозу (2 и 6). Отклонение температур стеклования $t_{ст}$ в этих образцах от контрольного не превышало 3°C, отклонение температуры замерзания t_3 — 1,5°C, криоскопической температуры $t_{кр}$ — 0,15°C. Отклонение удельной изобарной теплоемкости при температуре образца 23°C (Cp_{23}), энтальпии фазовых переходов влаги ($\Delta_{ф.п.}$, кДж/кг) и, соответственно, доли вымороженной влаги (ω_3) составляло менее 3%.

При производстве мороженого существенное влияние на технологические параметры процессов фризирования смесей имеет количество вымороженной влаги в образцах в зоне температур от криоскопической до минус 10°C. Благодаря сравнительно близким температурам замерзания (эвтектики) кривые зависимости вымороженной влаги от температуры образцов 2–7к имеют коллинеарный характер (Рисунок 2), а их смещение зависит в первую очередь от молекулярной массы и криоскопической температуры низкомолекулярных компонентов смесей мороженого. Исключение составляет образец 1 с эритритом, где за счет особенностей свойств данного сахароспирта произошло снижение температуры замерзания (эвтектической) более чем на 10°C. Благодаря этому кривая зависимости вымороженной влаги от температуры в образце 1 значительно отличается от аналогичных кривых для других образцов. Даже небольшое смещение кривых доли вымороженной влаги существенно изменяет свойства мороженого в зоне фазового перехода. Так, при температуре минус 3,62°C в образце 1 лишь начинается формирование первых кристаллов, тогда как образцы 2, 6 и 7к при той же температуре содержат более 45% льда.

Наименьшая криоскопическая температура установлена для образца с эритритом и инулином (образец 1). Сравнительно низкой криоскопической температурой относительно контрольного образца характеризовались образцы 3, 4 и 5 с использованием фруктозы. Различия криоскопической температуры и доли вымороженной влаги обусловлены низкой молекулярной массой указанных ингредиентов [6].

Дополнительно проведен анализ пиков плавления на ДСК-кривых смесей молочного жира, содержащихся в исследованных образцах (Рисунок 3). В отличие от значений теплоемкости, сигнал ДСК, измеряемый на ДСК калориметрах, позволяет отказаться от вертикальной привязки графиков к величине абсолютных значений сигнала и обеспечивает высокую наглядность пиков плавления жиров в каждом из исследованных образцов (двойная повторность экспериментов) за счет предоставляемой исследователям возможности их вертикального смещения (вручную).

Полученные экспериментальные данные подтверждают отсутствие статистически значимого влияния заменителей сахарозы на процесс плавления молочных жиров в исследованных образцах мороженого.

Установлено, что замена сахарозы на композиции полиолов, пищевых волокон, фруктозы и трегалозы положительно сказалась на устойчивости мороженого к таянию. В Таблице 5 приведены данные по массовой доле плава в образцах мороженого с измененным составом углеводов и с сахарозой через 60, 90 и 120 мин выдерживания при температуре $20 \pm 1^\circ\text{C}$.

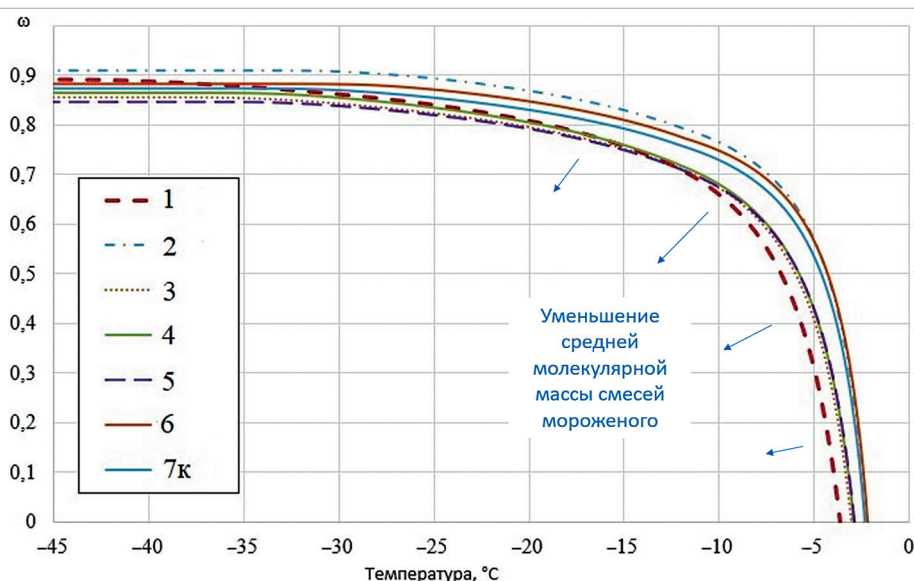


Рисунок 2. Зависимость доли вымороженной влаги в образцах мороженого от температуры
Figure 2. Dependence of the proportion of frozen-out moisture in the ice cream samples on temperature

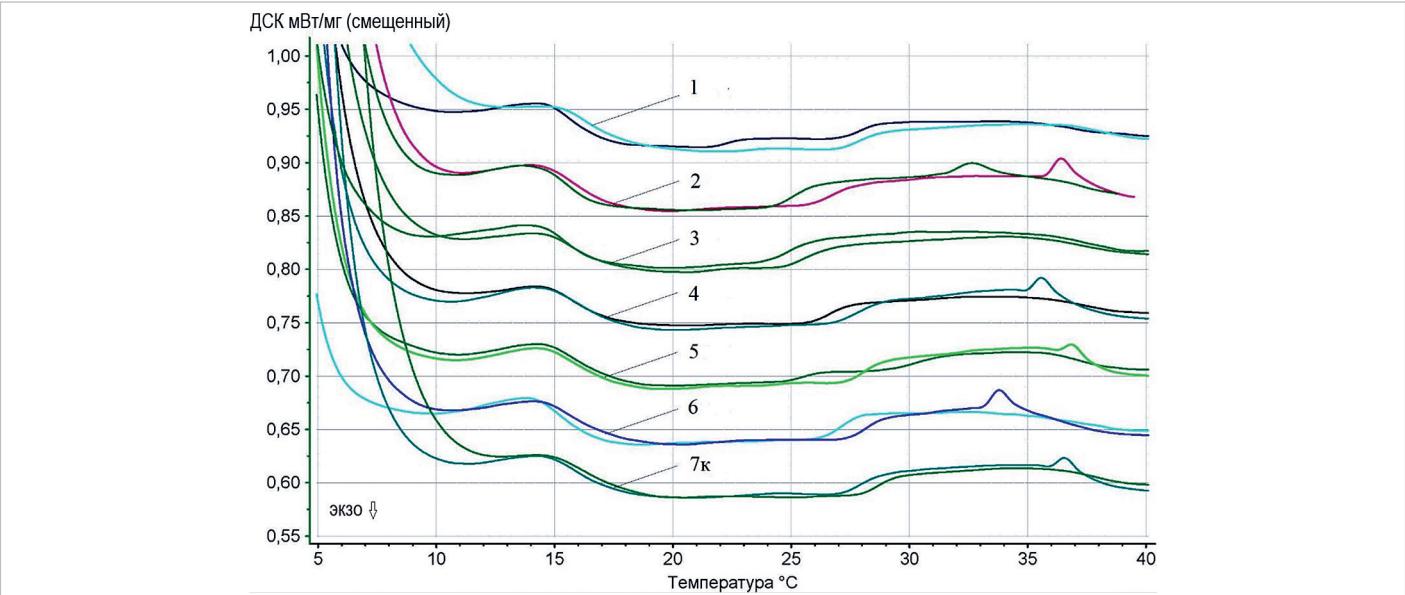


Рисунок 3. ДСК-сигнал при плавлении молочных жиров в образцах мороженого (смещенный для наглядности)
Figure 3. DSC signal upon melting of milk fats in the ice cream samples (shifted for visibility)

Таблица 5. Массовая доля плава образцов мороженого
Table 5. Mass fraction of melt of the ice cream samples

Время выдерживания, мин	Массовая доля плава образцов мороженого, %, в образцах						
	1	2	3	4	5	6	7к
60	6,8	3,3	0,9	1,6	8,1	0,3	9,8
90	16,2	24,6	4,1	6,3	44,2	19,1	49,8
120	35,4	59,7	8,8	16,1	79,9	45,1	88,3

Как следует из данных Таблицы 5, все опытные образцы тают медленнее контрольного, что обусловлено наличием пищевых волокон и сахаров, прочно удерживающих воду в структуре продукта [31]. Наибольшей термоустойчивостью через 60 мин выдерживания характеризовались образцы 3 и 6, через 90 мин выдерживания — образцы 3 и 4. Наибольшей термоустойчивостью во всех контрольных точках отличался образец 3, что обусловлено синергетическими свойствами фруктозы и трегалозы.

Исследование дисперсности кристаллов льда и воздушной фазы в образцах мороженого позволило установить динамику этих показателей в процессе хранения. Данные о дисперсности структурных элементов в мороженом представлены в Таблице 6.

Установлено, что в наибольшей степени снизилась дисперсность кристаллов льда в образцах 2 (с мальтитом и инулином) и 5 (с фруктозой и инулином): размеры кристаллов через 3 месяца хранения увеличились на 15 и 21 %, а через 6 месяцев — на 30 и 37 % соответственно. Это подтверждает, что изначально образовавшиеся мелкие кристаллы льда больше всего подвержены рекристаллизации [32].

Увеличение размеров кристаллов льда через 3 месяца хранения в остальных образцах составило от 3 до 8 %. Через 6 месяцев хранения наименьшие изменения отмечены в образце 3 (с 8 % фруктозы и 6 % трегалозы), которые составили 5 %, в образце 4 с другим соотношением этих сахаров (6 % фруктозы и 8 % трегалозы) — 9 %, что характерно также для контрольного образца 7к и образца 6 (с трегалозой и инулином). Изменения в образце 1 через 6 месяцев хранения были на уровне 22 %, основное увеличение кристаллов льда пришлось на период с 3 до 6 месяцев.

Наименьшие изменения дисперсности воздушной фазы через 6 месяцев хранения отмечены в образце 2: средний размер воздушных пузырьков увеличился менее чем на 3 %, что соизмеримо с пределом допустимой погрешности 5 %. Укрупнение воздушных пузырьков в образцах 4 и 6 составило 9 и 10 %, в образцах 5 и 7к — 15 и 16 % соответственно. В образцах 1 и 3 произошли нетипичные изменения дисперсности воздушной фазы: диаметр воздушных пузырьков за период между 3 и 6 месяцами хранения снизился на 13 и 15 % соответственно, что, вероятно, обусловлено различиями образцов по консистенции. Образец 1 был тверже контрольного в 10 раз, а образец 3 мягче в 1,6 раза.

Таблица 6. Дисперсность структурных элементов в мороженом
Table 6. Dispersion of the structural elements in ice cream

Образец	Кристаллы льда		Пузырьки воздуха	
	Средний размер, мкм	Доля до 50 мкм, %	Средний размер, мкм	Доля до 50 мкм, %
Закаливание				
1	33,5±0,2	92	34,3±1,4	83
2	32,7±1,3	94	42,4±0,9	65
3	39,6±0,4	82	41,0±4,2	67
4	34,8±1,6	91	36,5±3,2	80
5	28,5±0,5	98	38,5±2,2	75
6	38,4±1,5	86	45,0±0,3	61
7к	37,8±1,0	84	35,9±3,9	77
3 мес. хранения				
1	36,2±0,3	90	35,1±1,0	83
2	37,7±0,1	85	43,1±2,0	66
3	41,1±1,4	81	42,9±2,4	66
4	35,8±2,3	91	38,0±2,2	76
5	34,7±0,4	91	39,7±1,9	72
6	41,6±0,5	79	46,4±2,2	62
7к	38,6±0,1	85	38,1±0,5	74
6 мес. хранения				
1	40,8±1,3	83	30,5±1,5	88
2	42,4±0,1	76	43,5±2,5	67
3	41,4±0,2	81	36,5±0,7	75
4	38,0±0,9	88	39,7±4,1	72
5	39,1±0,3	83	44,1±3,6	64
6	41,7±1,0	80	49,5±1,5	55
7к	41,3±1,5	81	41,6±1,1	68

Учитывая, что окисление жировой фазы является одним из основных видов порчи мороженого, во всех образцах определена продолжительность индукционного периода окисления жира через 8 мес. хранения (Рисунок 4).

Образцы в порядке увеличения показателя «индукционный период окисления» можно расположить в последовательности: 1, 6, 4, 7к, 2, 3 и 5. Внесение композиции фруктозы и инулина (образец 5) увеличивает продолжительность индукционного периода на 11 ч по сравнению с контролем; снижение индукционного периода на 6 ч по сравнению с образцом 7к отмечено у образца 1. Индукционный период образцов 3 и 4 с одинаковым качественным, но различным количественным составом различается на 7 ч, на что следует обратить внимание при дальнейших исследованиях.

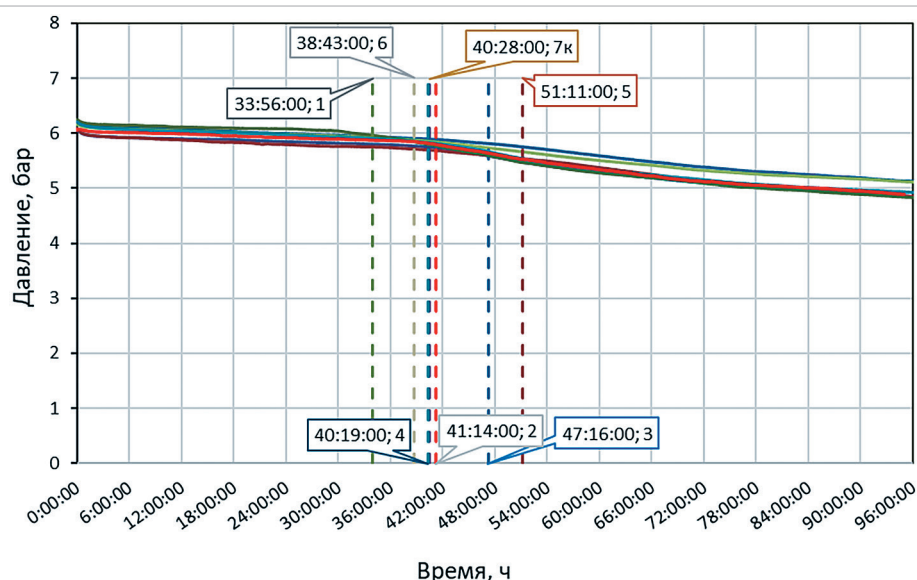


Рисунок 4. Способность к окислению образцов мороженого с сахарами и подсластителями
Figure 4. Oxidability of the ice cream samples with sugars and sweeteners

4. Выводы

Установлено, что в наибольшей степени в мороженом сохраняются показатели качества при замене сахарозы на композиции ингредиентов с одинаковой молекулярной массой (мальтита) и инулина или на сахара (композиция фруктозы и трегалозы). Различия показателей качества мороженого с сахарозой и образцов с фруктозой и трегалозой незначительны. При этом использование фруктозы (8%) и трегалозы (6%) позволяет достичь более мягкой консистенции мороженого, что способствует формированию новых потребительских свойств готового продукта.

Совместное использование фруктозы и трегалозы в количествах, при которых преобладает один из сахаров, оказывает влияние на показатели консистенции и структуры мороженого. При преобладании фруктозы были обнаружены меньшие значения показателей: «условная твердость» — в 2,5 раза, а «средний диаметр кристаллов льда» — на 8–12% (в зависимости от срока хранения) по сравнению с образцом, где преобладала трегалоза. При использовании только одного из этих сахаров в композиции с инулином было установлено, что образец 6 с трегалозой в 1,6 раза тверже, чем образец 5 с фруктозой и инулином. После закаливания наименьшие диаметр воздушных пузырьков и размер кристаллов льда образовались в образце с фруктозой, однако через 6 месяцев хранения различия размеров кристаллов льда составили 6%, для воздушных пузырьков — 12%.

Отмечено наибольшее снижение дисперсности кристаллов льда в образце 5 (с фруктозой) в период между закаливанием и 3 месяцами хранения. Средний размер кристаллов льда увеличился на 21%, в образце с трегалозой — на 8%.

Использование полиола эритрита (компонента с низкой молекулярной массой) для замены сахарозы в мороженом приводит к снижению окислительной стабильности жировой фазы, к заметному изменению показателей консистенции (увеличивается показатель «условная твердость») и теплофизических свойств, в частности, снижаются температуры стеклования (на 22 °C), замораживания (на 12,5 °C) и криоскопическая температура (на 1,3 °C).

Экспериментально подтверждено, что замена сахарозы на композиции полиолов, пищевых волокон, фруктозы и трегалозы не влияет на теплоемкость смесей в положительной области температур, и различия в теплоемкости не превышают 3%, но существенно влияют на долю вымороженной влаги в области температур, характерной для процессов фризирования мороженого и его потребления.

Полученные результаты исследований будут полезны изготовителям мороженого с заменой сахарозы на заменители и подсластители при разработке композиционного состава, а также при выборе параметров процесса фризирования и установлении срока годности готового продукта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК / REFERENCES

- Arshad, S., Rehman, T., Saif, S., Rajoka, M. S. R., Ranjha, M. M. A. N., Hasoun, A. et al. (2022). Replacement of refined sugar by natural sweeteners: Focus on potential health benefits. *Heliyon*, 8(9), Article e10711. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2022.e10711>
- Bayram, H. M., Ozturkcan, A. (2022). Added sugars and non-nutritive sweeteners in the food supply: Are they a threat for consumers? *Clinical Nutrition ESPEN*, 49, 442–448. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2022.03.006>
- Takehara, C. T., Nicoluci, I.G., Andrade, T.F.S., Ariseto-Bragotto, A.P. (2022). A comprehensive database of declared high-intensity sweeteners in Brazilian commercial products and updated exposure assessment. *Food Research International*, 161, Article 111899. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111899>
- Deliza, R., Lima, M.F., Ares, G. (2021). Rethinking sugar reduction in processed foods. *Current Opinion in Food Science*, 40, 58–66. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.01.010>
- Sayas-Barberá, E., Paredes, C., Salgado-Ramos, M., Pallarés, N., Ferrer, E., de Vera, C.N.-R. et al. (2023). Approaches to enhance sugar content in foods: Is the date palm fruit a natural alternative to sweeteners? *Foods*, 13(1), Article 129. <https://doi.org/10.3390/foods13010129>
- Королев, И. А., Творогова, А. А., Ситникова, П. Б. (2021). Совершенствование расчетного метода определения криоскопической температуры смесей для мороженого функциональной направленности. *Пищевые системы*, 4(3), 164–171. [Korolev, I. A., Tvorogova, A. A., Sitnikova, P. B. (2021). Improvement of the computational method for determining the cryoscopic temperature of functional ice cream mixtures. *Food Systems*, 4(3), 164–171. (In Russian)] <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-3-164-171>
- Hartel, R.W., Rankin, S.A., Bradley, Jr. R.L. (2017). A 100-Year Review: Milestones in the development of frozen desserts. *Journal of Dairy Science*, 100(12), 10014–10025. <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13278>
- van der Sman, R.G.M., Jurgens, A., Smith, A., Renzetti, S. (2022). Universal strategy for sugar replacement in foods? *Food Hydrocolloids*, 133, Article 107966. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107966>
- Tang, C.S., Mars, M., James, J., Appleton, K.M. (2023). Associations between attitudes towards and reported intakes of sugars, low/no-calorie sweeteners, and sweet-tasting foods in a UK sample. *Appetite*, 194, Article 107169. <https://doi.org/10.1016/j.appet.2023.107169>
- da Silva Santana, N., Mothé, C.G., de Souza, M.N., Mothé, M.G. (2022). Thermal and rheological study of artificial and natural powder tabletop sweeteners. *Food Research International*, 162(Part A), Article 112039. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.112039>
- Samaniego-Vaesken, M.D.L., Ruiz, E., Partearroyo, T., Aranceta-Bartrina, J., Gil, Á., González-Gross, M. et al. (2018). Added sugars and low- and no-calorie sweeteners in a representative sample of food products consumed by the Spanish ANIBES study population. *Nutrients*, 10(9), Article 1265. <https://doi.org/10.3390/nu10091265>
- Schiano, C., Grimaldi, V., Scognamiglio, M., Costa, D., Soricelli, A., Nicoletti, G.F. et al. (2021). Soft drinks and sweeteners intake: Possible contribution to the development of metabolic syndrome and cardiovascular diseases. Beneficial or detrimental action of alternative sweeteners? *Food Research International*, 142, Article 110220. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110220>
- Kheto A., Bist, Y., Awana, A., Kaur, S., Kumar, Y., Sehrawat, R. (2023). Utilization of inulin as a functional ingredient in food: Processing, physicochemical characteristics, food applications, and future research directions. *Food Chemistry Advances*, 3, Article 100443. <https://doi.org/10.1016/j.focha.2023.100443>
- Сербаева, Э.Р., Якупова, А.Б., Магасумова, Ю.Р., Фархутдинова, К.А., Ахметова, Г.Р., Кулуев, Б.Р. (2020). Инулин: природные источники, особенности метаболизма в растениях и практическое применение. *Биомика*, 12(1). 57–79.

- [Serbaeva, E.R., Yakupova, A.B., Magasumova, Yu.R., Farkhutdinova, K.A., Akhmetova, G.R., Kuluev, B.R. (2020). Inulin: Natural sources, features of metabolism in plants and practical application. *Biomics*, 12(1), 57–79. (In Russian)]. <https://doi.org/10.31301/2221-6197.bmcs.2020-5>
15. Dangre, P.V., Kotkar, K.S., Pimple, A.D., Meshram, S.S. (2024). Chemistry, isolation, and pharmaceutical applications of inulin. *Current Drug Therapy*, 20(1), 8–17. <https://doi.org/10.2174/0115748855274579240103042126>
 16. Ahmed, K.S., Hasan, G.M.M.A., Satter, M.A., Sikdar, K. (2023). Making ice cream with natural sweetener stevia: Formulation and characteristics. *Applied Food Research*, 3(2), Article 100309. <https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100309>
 17. Velotto, S., Parafati, L., Ariano, A., Palmeri, R., Pesce, F., Planeta, D. et al. (2021). Use of stevia and chia seeds for the formulation of traditional and vegan artisanal ice cream. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 26, Article 100441. <https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100441>
 18. Muenprasitvej, N., Tao, R., Nardone, S.J., Cho, S. (2022). The effect of steviol glycosides on sensory properties and acceptability of ice cream. *Foods*, 11, Article 1745. <https://doi.org/10.3390/foods11121745>
 19. Long, M., Wei, Y., Tao, S., Wu, Y., Wang, J., Zhou, D. et al. (2023). Ice cream with sucralose, stevioside, and erythritol as sugar substitutes: Sensory profile and customer preference. *Food Science and Technology International*, 30 (3), 273–281. <https://doi.org/10.1177/10820132221150534>
 20. Фатихова, Т.Е., Могильный, М.П., Шленская, Т.В. (2015). Разработка новых видов мороженого с использованием натуральных сахарозаменителей. *Известия высших учебных заведений. Пищевая технология*, 4(346), 76–78. [Fatikhova, T.E., Mogilny, M.P., Shlenskaya, T.V. (2015). Development of new types of ice cream with natural sugar substitutes. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 4(346), 76–78. (In Russian)]
 21. de Medeiros, A.C., Tavares Filho, E.R., Bolini, H.M. (2020). Temporal profile of low calorie lactose-free ice cream chocolate flavor: Temporal dominance sensation and multiple time-intensity analysis. *Journal of Food Science and Technology*, 58, 3164–3173. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04819-2>
 22. Yeboah, J., Santoro, A.M., Arrieta-Escobar, J.A., Caballero, I.M., Orjuela, A., Novoa, C.F. et al. (2022). Heuristic-based computer-aided design of ice creams and validation by using jaggery as refined sugar substitute. *Chemical Engineering Research and Design*, 184, 256–266. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2022.06.018>
 23. Богданова, Е. В., Пономарёв, А. Н., Мельникова, Е. И., Самойленко, А. В. (2017). Применение изомальтулозы в технологии кисломолочного мороженого. *Вестник МАХ*, 4, 24–29. [Bogdanova, E. V., Ponomarev, A. N., Melnikova, E. I., Samoilenko, A. V. (2017). Isomaltulose in the technology of ice cream form fermented milk. *Journal of International Academy of Refrigeration*, 4, 24–29 (In Russian)] <https://doi.org/10.21047/1606-4313-2017-16-4-24-29>
 24. Cadena, R.S., Cruz, A.G., Faria, J.A.F., Bolini, H.M.A. (2012). Reduced fat and sugar vanilla ice creams: Sensory profiling and external preference mapping. *Journal of Dairy Science*, 95(9), 4842–4850. <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5526>
 25. Rathod, K.R., Londhe, G.K., Naik, A.P. (2013). Optimization of levels of artificial sweetener for preparation of sugar free ice-cream. *Asian Journal of Dairy and Food Research*, 32(4), 266–274.
 26. Ландиховская, А. В., Творогова, А. А. (2023). Показатели качества молочного мороженого с цитрусовыми волокнами и камедями. *Пищевые системы*, 6(2), 261–268. [Landikhovskaya, A. V., Tvorogova, A. A. (2023). Quality characteristics of milk ice cream with citrus fibers and gum. *Food Systems*, 6(2), 261–268. (In Russian)] <https://doi.org/10.21523/2618-9771-2023-6-2-261-268>
 27. Королев, И. А. (2023). Автоматизированное определение дисперсности воздушной фазы в мороженом с применением методов машинного обучения. *Техника и технология пищевых производств*, 53(3), 455–464. [Korolev, I. A. (2023). Automated measurement of air bubbles dispersion in ice cream using machine learning methods. *Food Processing: Techniques and Technology*, 53(3), 455–464. (In Russian)] <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2023-3-2448>
 28. Belozorov, A. G., Berezovsky, Y. M., Zherdev, A. A., Korolev, I. A., Pushkarev, A. V., Agafonkina, I. V. et al. (2018). A Study of the thermophysical properties of human prostate tumor tissues in the temperature range from -160 to +40, °C. *Biophysics*, 63, 268–273. <https://doi.org/10.1134/S0006350918020057>
 29. Moriano, M. E., Alamprese, C. (2017). Honey, trehalose and erythritol as sucrose-alternative sweeteners for artisanal ice cream. A pilot study. *LWT*, 75, 329–334. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.057>
 30. Kalicka, D., Znamirska, A., Pawlos, M., Buniowska, M., Szajnara, K. (2019). Physical and sensory characteristics and probiotic survival in ice cream sweetened with various polyols. *International Journal of Dairy Technology*, 72(3), 456–465. <https://doi.org/10.1111/1471-0307.12605>
 31. Tolve R., Zanonni M., Ferrentino G., Gonzalez-Ortega R., Sportiello L., Scampicchio M. et al. (2024). Dietary fibers effects on physical, thermal, and sensory properties of low-fat ice cream. *LWT*, 199, Article 116094. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2024.116094>
 32. Cook, K.L.K., Hartel, R.W. (2010). Mechanisms of Ice Crystallization in Ice Cream Production. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(2), 213–222. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00101.x>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ	AUTHOR INFORMATION
Принадлежность к организации	Affiliation
Ландиховская Анна Валентиновна — кандидат технических наук, научный сотрудник, лаборатория технологии мороженого, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, Москва, ул. Костякова, 12 E-mail: a.landihovskaya@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5881-2309 * автор для контактов Творогова Антонина Анатольевна — доктор технических наук, доцент, заместитель директора, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, Москва, ул. Костякова, 12 E-mail: a.tvorogova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7293-9162 Королев Игорь Антонович — кандидат технических наук, научный сотрудник, лаборатория систем хладоснабжения и теплофизических измерений, Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности 127422, Москва, ул. Костякова, 12 E-mail: i.korolev@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3166-2827	Anna V. Landikhovskaya, Candidate of technical sciences, Senior Researcher, Ice Cream Technology Laboratory, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostykov str., Moscow, 127422, Russia E-mail: a.landihovskaya@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5881-2309 * corresponding author Antonina A. Tvorogova, Doctor of Technical Sciences, Docent, Deputy Director, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostykov str., Moscow, 127422, Russia E-mail: a.tvorogova@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7293-9162 Igor A. Korolev, Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Laboratory of Refrigeration Systems and Thermophysical Measurements, All-Russian Scientific Research Institute of Refrigeration Industry 12, Kostykov str., Moscow, 127422, Russia. Tel.: +7-495-610-83-85 E-mail: i.korolev@fncps.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3166-2827
Критерии авторства	Contribution
Ландиховская А. В. — обзор литературы, проведение и обработка результатов экспериментальных исследований; Творогова А. А. — научное руководство исследованиями, анализ и обобщение результатов исследований; Королев И. А. — проведение и обработка результатов экспериментальных исследований.	Landikhovskaya A. V. — Literature review, conducting and processing the results of experimental studies; Tvorogova A. A. — scientific advisor of research, analysis and synthesis of research results; Korolev I. A. — conducting and processing the results of experimental studies.
Конфликт интересов	Conflict of interest
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.	The authors declare no conflict of interest.