

УДК 663.674

Исследование влияния замены сахарозы и закаливания при электромагнитной обработке на показатели качества мороженого

Н. ТЮТКОВ, И. В. АЛЕКСАНДРОВА, А. С. СОРОКИНА,
канд. техн. наук А. И. ЛЕПЕШКИН, канд. техн. наук Д. А. БАРАНЕНКО*
Университет ИТМО

*E-mail: denis.baranenko@itmo.ru

В статье рассмотрено влияние сахарозаменителей и электромагнитной обработки на структуру, качество и теплофизические показатели мороженого. Объектами исследования служили мальтит, эритрит и фруктоза. Рецепт мороженого подбирался путем математического проектирования по заданным значениям жирности, сухих веществ и сухого обезжиренного молочного остатка. Для оценки качества полученных образцов мороженого использовались калориметрические, органолептические и физические методы исследования. Было установлено, что мальтит, ввиду наибольшей схожести молекулярной массы с сахарозой (344,3 и 342,3 г/моль, соответственно) из рассмотренных сахарозаменителей оказался наиболее подходящей заменой сахара. Замена сахара на эритрит приводит к смещению температуры кристаллообразования (с 0,9 до $-9,5$ °С) и стеклования (с $-34,1$ до $-31,9$ °С), а также слишком твердой текстуре продукта (256 Н), в то время как замена сахара на фруктозу, напротив, влечет за собой получение слишком мягкой текстуры (2,4 Н) с повышенной скоростью плавления и избыточной сладостью. Образцы мороженого, обработанные электромагнитным полем в данном исследовании, не имели статистически значимых различий по сравнению с необработанными образцами. По результатам исследования была разработана рецептура мороженого без сахара. Было показано, что замена сахара в составе мороженого на сахарозаменители со схожей молекулярной массой сохраняет качество продукта.

Ключевые слова: сахарозаменители, мороженое, электромагнитное замораживание, калориметрия, мальтит, температура кристаллообразования.

Информация о статье:

Поступила в редакцию 31.03.2025, одобрена после рецензирования 22.04.2025, принята к печати 24.04.2025

DOI: 10.17586/1606-4313-2025-24-2-48-55

Язык статьи — русский

Для цитирования:

Тютков Н., Александрова И. В., Сорокина А. С., Лепешкин А. И., Бараненко Д. А. Исследование влияния замены сахарозы и закаливания при электромагнитной обработке на показатели качества мороженого. // Вестник Международной академии холода. 2025. № 2. С. 48–55. DOI: 10.17586/1606-4313-2025-24-2-48-55

Effect of sucrose replacement and hardening by electromagnetic treatment on quality indicators of ice cream

N. TYUTKOV, I. V. ALEXANDROVA, A. S. SOROKINA, Ph. D. A. I. LEPESHKIN, Ph. D. D. A. BARANENKO*

ITMO University

*E-mail: denis.baranenko@itmo.ru

The study examines the effect of sugar substitutes and electromagnetic treatment on the structure, quality, and thermophysical properties of ice cream. The investigated sugar substitutes included maltitol, erythritol, and fructose. The ice cream formulation was developed using mathematical modeling based on predetermined values of fat content, total solids, and non-fat milk solids. Calorimetric, organoleptic, and physical methods were used to assess the quality of the obtained ice cream samples. It was found that maltitol, due to its molecular weight being the closest to sucrose (344.3 and 342.3 g/mol, respectively) among the examined sugar substitutes, proved to be the most suitable sugar replacement. Replacing sugar with erythritol resulted in a shift in crystallization (from 0.9 to -9.5 °C) and glass transition (from -34.1 to -31.9 °C) temperatures, as well as an excessively hard texture (256 N). In contrast, substituting sugar with fructose led to an overly soft texture (2.4 N), increased melting rate, and excessive sweetness. Ice cream samples subjected to electromagnetic field treatment in this study did not exhibit statistically significant differences compared to untreated samples. Based on the research findings, a sugar-free ice cream formulation was developed. It was demonstrated that replacing sugar with substitutes of similar molecular weight preserves the quality of the final product.

Keywords: sugar substitutes, ice cream, electromagnetic freezing, calorimetry, maltitol, crystallization temperature.

Article info:

Received 31/03/2025, approved after reviewing 22/04/2025, accepted 24/04/2025

DOI: 10.17586/1606-4313-2025-24-2-48-55

Article in Russian

For citation:Tyutkov N., Alexandrova I. V., Sorokina A. S., Lepeshkin A. I., Baranenko D. A. Effect of sucrose replacement and hardening by electromagnetic treatment on quality indicators of ice cream. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2025. No 2. p. 48-55. DOI: 10.17586/1606-4313-2025-24-2-48-55**Введение**

Чрезмерное потребление добавленной сахарозы в продуктах питания представляет опасность для здоровья человека. Так, потребление сахара в больших количествах увеличивает риски развития ожирения, диабета, заболеваний сердечно-сосудистой системы и ротовой полости [1]. В частности, эта проблема осложняет производство функциональных десертов, так как высокое содержание сахара затрудняет их использование в профилактических целях. В последнее время широко распространяется тенденция к производству традиционных десертов без использования сахара, с заменой его на натуральные сахарозаменители и синтетические подсластители. Подобные ингредиенты отличаются от сахара не только уровнем сладости и физиологическими функциями, но и технологическими характеристиками. Вид сахарозаменителя особенно важен при разработке мороженого, так как сахар в нем не только влияет на сладость продукта, но также играет важную роль в формировании характерной структуры. На сегодняшний день уже имеется ряд исследований, посвященных изучению влияния на качество мороженого таких сахарозаменителей как эритрит, стевия, ксилит, инулин, фруктоза, трегалоза и других [2]–[7]. Однако остается актуальным обоснование выбора вида сахарозаменителя при разработке мороженого без сахарозы.

Замораживание с использованием электромагнитной обработки сравнительно новое направление в пищевой промышленности, при этом имеется ряд работ посвященных влиянию электромагнитных полей на качество замороженных продуктов [8]–[10]. Электромагнитная обработка способствует движению диполей воды, что влечет за собой изменение в динамике роста кристаллов льда и способствует образованию большего количества мелких кристаллов [11]. Авторы отмечают снижение размера кристаллов льда при замораживании с использованием электромагнитного поля, что может обеспечить улучшение показателей качества мороженого.

Целью данной работы являлось исследование влияния мальтита, эритрита и фруктозы, а также электромагнитной обработки при закаливании на качество мороженого.

Объект и методы исследования

В данной работе исследовались такие сахарозаменители, как мальтит, эритрит и фруктоза, так как они широко доступны для использования в кондитерской промышленности и полноценно изучены с точки зрения биологических эффектов в организме человека при их употреблении в пищу.

Объектам исследования являлось мороженое, приготовленное по четырем рецептурам, различающееся

видом сахарозаменителя — с сахаром, мальтитом, эритритом и фруктозой. Для приготовления взяты: молоко 3,2% жирности (ГОСТ 31450–2013), сливки ультрапастеризованные 35% жирности (ГОСТ 31451–2013), молоко сухое цельное 26% жирности (ГОСТ 33629–2015), масло сливочное 82,5% (ГОСТ 32261–2013), сахар-песок (ГОСТ 33222–2015), а также мальтитол (Baolingbao Biology Co. Ltd, Китай), эритритол (Shandong Sanyuan Biotechnology Co. Ltd, Китай), фруктоза (ADM Besin Ve Tarim A. S., Турция), моно- и диглицериды жирных кислот (ООО, «Бреж», Россия), гуаровая камедь (RAMA GUM INDUSTRIES LTD, Индия), ГРИНДСТЕД Каррагинан (GRINDSTED Carrageenan) CS 110 (DuPont Nutrition Biosciences ApS, Дания), карбоксиметилцеллюлоза (ООО, «Бреж», Россия).

Разработка рецептуры мороженого осуществлялась с учетом общепринятых параметров: содержание жира — 15%, общее количество сухих веществ — 39%, а массовая доля обезжиренного сухого молочного остатка (COMO) — 10%, в соответствии с требованиями ГОСТ 31457–2012. Расчеты массового баланса проводились в программе PTC MathCAD 10 [11].

Приготовление мороженого.

На первом этапе все компоненты точно взвешивали с использованием лабораторных весов (FX-200i, A&D Company, Япония), после чего объединяли в аппарате Thermomix TM6 (Vorwerk, США). Далее смесь пастеризовали, нагревая до 85 °С и выдерживая при этой температуре в течение 1 мин при непрерывном перемешивании. Следующим этапом проводили диспергирование, используя диспергатор Ultra-Turrax T 18 (IKA-Werke, Германия) на скорости 10 000 об/мин в течение 5 мин. Затем смесь охлаждали до 20 °С и оставляли на 12 ч при 4 °С для созревания.

Фризерование осуществляли в аппарате МК-618СТВ (Miken, Китай), после чего готовый продукт фасовали в контейнеры объемом 500 мл и пробирки по 50 мл. Затем мороженое подвергали быстрому замораживанию в скороморозильном аппарате (ШОК-20–1/1М, Abat, Россия) при температуре воздушного потока –35 °С, до достижения температуры в геометрическом центре продукта –18 °С. Часть образцов в ходе закаливания подвергали обработке электромагнитным полем. Обработка объекта проведена с помощью скороморозильного оборудования с одновременным воздействием на него осциллирующего магнитного поля (200–1000 мТл) и импульсного электрического поля (20–100 кГц). Воздействие оказывалось с помощью конструкции (~60×60×50 см) состоящей из 3 отдельных преобразователей (контуров), соединенных вместе направляющей (Agrifreeze, Синга-

пур), которая размещалась внутри скороморозильной камеры. После завершения процесса мороженое хранили при $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Определение взбитости мороженого.

Параметр взбитости анализировали в соответствии с ГОСТ 31457–2012.

Для проведения измерений стакан наполняли смесью для мороженого до уровня его края, после чего взвешивали с точностью до 1 г. Затем содержимое удаляли, сам стакан промывали водой, высушивали в сушильном шкафу, охлаждали при комнатной температуре и вновь взвешивали, фиксируя результат с такой же точностью.

После приготовления мороженого, стакан до краев заполняли образцами, выгруженными из фризера избегая образования пустот. Излишки аккуратно удаляли шпателем. Далее производили финальное взвешивание, фиксируя значение с точностью до 1 г. Измерения повторяли в трехкратной повторности.

Взбитость мороженого (B , %) рассчитывали по формуле (1):

$$B = \frac{M_2 - M_3}{M_3 - M_1} \cdot 100, \quad (1)$$

где M_2 — масса стакана, заполненного смесью, г; M_3 — масса стакана, заполненного мороженым, г; M_1 — масса стакана, г; 100 — коэффициент пересчета отношения в проценты.

Скорость таяния.

Для анализа таяния мороженого цилиндрические образцы диаметром 15 мм, высотой 30 мм и массой $3,3 \pm 0,3$ г вырезали из блоков с помощью шприца с отрезанным наконечником. Затем подготовленный образец, предварительно выдержанный при $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, помещали на сито с отверстиями диаметром 5 мм, установленное над весами, на которых находилась чаша для сбора талой фракции. Эксперимент проводили в камере с поддерживаемой температурой $34\text{ }^{\circ}\text{C}$ и относительной влажностью около 50%. Замеры массы расплава выполняли каждую минуту.

Содержание влаги.

Для определения массовой доли влаги образцы мороженого ($5,0 \pm 0,5$ г) высушивали в сушильном шкафу (BINDER ED 53, Binder, Германия) при $130\text{ }^{\circ}\text{C}$ до достижения постоянной массы (примерно 12 ч). Влажность рассчитывали по формуле (2):

$$\text{Влага} = \frac{M_1 - M_2}{M_1} \cdot 100, \quad (2)$$

где M_1 — начальная масса мороженого; M_2 — масса после высушивания.

Твердость.

Механические свойства образцов определяли с помощью испытательной машины EZ Test (Shimadzu, Япония) при температуре окружающей среды $22 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Образцы перед испытанием инкубировались при температуре $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Оборудование оснащали датчиком нагрузки с пределом 5000 Н.

Испытания проводили на образцах, замороженных в пластиковых пробирках объемом 50 мл. В ходе теста металлический индентор с шарообразным наконечником диаметром 2 мм погружали вглубь образца на 30 мм со скоростью 3 мм/с. Управление оборудованием и анализ полученных данных выполняли с использованием программного обеспечения TrapeziumX.

Органолептический анализ.

Оценку органолептических характеристик проводили в соответствии с ГОСТ Р ИСО 22935-2-2011 и ГОСТ 31457–2012. Закрытую дегустацию осуществляли семь обученных экспертов, использующих пятибалльную гедоническую шкалу приемлемости (1 — крайне не нравится, 5 — очень нравится). В ходе анализа оценивали вкус, запах, консистенцию, текстуру и цвет образцов. Для обеспечения объективности каждому образцу присваивали код в виде случайной буквенной комбинации, после чего их предлагали дегустаторам в произвольном порядке.

Дифференциальная сканирующая калориметрия (ДСК).

Анализ методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) проводили в соответствии с методикой, описанной в [12]. Аликвоты массой 15 мг каждого образца герметично запаивали в алюминиевые тигли объемом 50 мкл (Perkin — Elmer) и помещали в дифференциальный сканирующий калориметр (DSC 204 F1 Phoenix, NETZSCH, Германия).

Испытания выполняли по следующему протоколу:

- охлаждение образца до $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ со скоростью $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$;
- нагревание в диапазоне от -80 до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ с последующей выдержкой при $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение 30 мин;
- повторное охлаждение до $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ со скоростью $10\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$ и изотермическая выдержка при этой температуре в течение 5 мин;
- нагревание образца от -80 до $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ со скоростью $5\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{мин}$.

Определялись следующие теплофизические параметры: T_0 — начало плавления; T_f — температура замерзания; T_p — температура пика; T_e — температура конца плавления, IC — доля замороженной воды.

Массовую долю замороженной влаги (IC), рассчитывали как отношение энтальпии плавления к удельной теплоте плавления чистого льда (334 Дж/г), деленное на содержание воды в образце.

Статистическая обработка.

Данные, полученные в результате работ, исследовались методами математической статистики с использованием программного обеспечения (Excell, MathCAD, TrapeziumX, NETZSCH Proteus) при $p=0,95$. Все исследования были проведены в трехкратной повторности.

Результаты и обсуждение

Разработка рецептуры мороженого осуществлялась на основании требований ГОСТ 31457–2012 к мороженому «пломбир». Подбор рецептуры производился по параметрам сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО), содержания жира и сухих веществ.

Таблица 1

Показатели жира, СОМО и сухих веществ компонентов смеси мороженого

Table 1

Content of fat, MSNF and dry components in ice-cream mixture

Ингредиент	X ₁	Массовая доля, %		
		Жиры	СОМО	Сухих веществ
Молоко	X ₁	3,2	8,2	11,4
Молоко Сухое	X ₂	26,0	70	96,0
Сливки	X ₃	33,0	8,2	41,2
Масло сливочное	X ₄	82,5	1,5	84,0
Сахар	X ₅	—	—	100
Смесь стабилизаторов	X ₆	—	—	100
Стандарт		15,0	10,0	39,0

На основании табл. 1 составляется система линейных балансовых уравнений по жиру, СОМО, сухим веществам и массе смеси мороженого в программе MathCAD.

Начальные приближения:

$$X_1 := 500$$

$$X_2 := 50$$

$$X_3 := 200$$

$$X_4 := 60$$

$$X_5 := 140$$

$$X_6 := 3$$

Ограничения:

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 = 1000$$

$$0,032X_1 + 0,26X_2 + 0,33X_3 + 0,825X_4 = 150$$

$$90 \leq 0,082X_1 + 0,96X_2 + 0,412X_3 + 0,84X_4 + X_5 + X_6 = 390$$

$$X_5 = 140; X_6 = 3; X_1 \geq 0; X_2 \geq 0; X_3 \geq 0; X_4 \geq 0.$$

Решение:

$$F := \text{Find}(X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6)$$

$$F = \begin{bmatrix} 509,029 \\ 48,119 \\ 254,904 \\ 44,948 \\ 140 \\ 3 \end{bmatrix}.$$

Исходя из полученных данных, рецептура с учетом округлений имела вид, представленный в табл. 2.

В образцах с сахарозаменителями производилась полная замена сахарозы на один из трех ингредиентов (мальтит, эритрит или фруктоза) по массе без учета коэффициента сладости. СОМО составил 9,8%, жирность — 15,9%, сухие вещества — 44,3%. Показатель взбитости составил 30,8%, 29,6%, 34,7% и 27,7% для экземпляров с сахарозой, мальтитом, эритритом и фруктозой соответственно. Изменение температуры мороженого фиксировалось в процессе закаливания. В связи с тем, что измерение температуры проводилось после процесса фризирования, начальная температура образцов была отрица-

Таблица 2

Стандартная рецептура мороженого

Table 2

Standard ice-cream formulation

Ингредиент	Количество, г/л
Молоко, 3,5% жирности	510
Сухое молоко, 26% жирности	48
Сливки, 35% жирности	255
Масло, 82,5% жирности	45
Сахароза	140
Смесь стабилизаторов и эмульгаторов	3

тельной (−4,2; −6,4; −4,2 и −6,3 °С для рецептур с мальтитом, эритритом, сахарозой и фруктозой, соответственно). На рис. 1 видно конец плато кристаллообразования и начало процесса охлаждения до конечной температуры хранения [13].

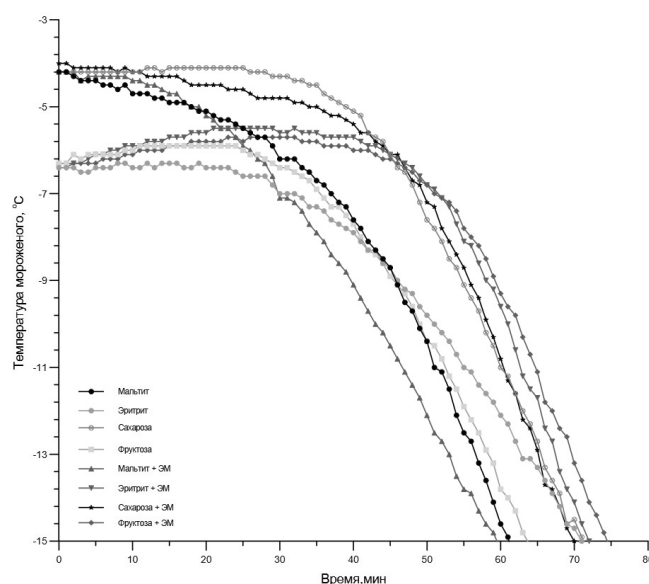


Рис. 1. Скорость закаливания образцов мороженого. ЭМ-образцы с электромагнитной обработкой

Fig. 1. Hardening speed of the ice-cream samples. The samples with electromagnetic treatment

Электромагнитная обработка не оказала значительного влияния на динамику замораживания образцов с мальтитом и сахарозой. С другой стороны, образцы с фруктозой и эритритом будучи подвергнутыми электромагнитной обработке дольше достигали точки перегиба (окончания процесса кристаллообразования). Это может быть объяснено более низкой начальной температурой смесей, при которой влияние электромагнитной обработки наиболее значимо сказывается на длине плато кристаллообразования.

Время начала плавления составило 1,3; 3,0; 3,5 и 13,9 мин для рецептов с фруктозой, сахарозой, мальтитом и эритритом, соответственно. Время полурасплава составило 9,5; 13 и 30 мин для рецептов с фруктозой, сахарозой и мальтитом, соответственно. Мороженое с эритритом сохранило форму, потеряв небольшое количество массы в виде вытечки. Данное явление может быть объяснено меньшей растворимостью эритрита, что приводит к повышенному содержанию кристаллической воды [2]. Полученные данные также свидетельствуют о низкой термостабильности образца с фруктозой, что затрудняет его коммерческое применение. Контрольный образец и мороженое с мальтитом плавилась со схожей скоростью, в то время как образец с эритритом плавился медленнее других.

Полученные данные коррелируют с твердостью образцов. Так, образцы с фруктозой, обладавшие наибольшей скоростью плавления, также были наиболее мягкими. С другой стороны, образцы с эритритом обладали излишней твердостью (рис. 2). Высокие значения твердости образца с эритритом приводят к тому, что такое мороженое становится трудным для зачерпывания ложкой, а при значительном механическом воздействии его структура поддается разрушению и крошится. Образцы с сахарозой и мальтитом значительно не отличались по показателям твердости. Также стоит отметить, что

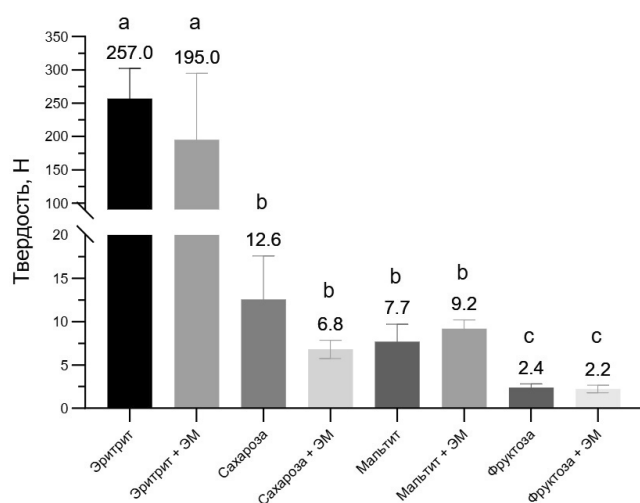


Рис. 2. Результаты измерения твердости образцов мороженого. ЭМ-образцы с электромагнитной обработкой; a, b, c — значения в одном столбце, обозначенные разными буквами, различаются со статистической значимостью ($P < 0,05$)

Fig. 2. Changes of ice-cream hardness. The samples with electromagnetic treatment; a, b, and c used in the same column stand for different statistical significance ($P < 0.05$)

электромагнитная обработка не оказала значительного влияния на показатель твердости в данном исследовании.

Вследствие повышенной скорости плавления образцов с фруктозой, для калориметрических исследований использовали образцы с эритритом, сахарозой и мальтитом. На основе данных ДСК (табл. 3) можно сделать вывод о том, что влияние изучаемых заменителей сахара на структуру и стабильность исследуемых систем существенно различается. Увеличение температуры стеклования смеси связано с повышением содержания связанной воды, что ограничивает подвижность молекул и способствует увеличению термодинамической стабильности системы, как это отмечено в работе [12].

Эритрит больше остальных повлиял на понижение температуры замерзания смеси. При температуре -50°C почти вся вода замерзала во всех образцах. В то же время при повышении температуры до -18°C и -10°C (температура хранения и потребления мороженого) наблюдалось более интенсивное снижение количества замороженной воды в образце с эритритом. Молекулярная масса оказывает значительное влияние на понижение точки замерзания и температуру стеклования смеси. Молекулярные массы эритрита и фруктозы сильно отличаются от сахарозы (122,1; 180,2 и 342,3 г/моль, соответственно). Мальтит же имеет наиболее близкую к сахарозе молекулярную массу (344,3 г/моль) и поэтому оказывает наименьшее влияние на теплофизические и структурные характеристики мороженого. В то же время стоит учитывать разницу в температуре стеклования сахарозы и мальтита (около 65°C и 43°C , соответственно), из чего следует некоторое повышение температуры замерзания образца с мальтитом [14, 15].

Органолептические характеристики полученных образцов представлены на профилограмме (рис. 3).

Все образцы получили высокие баллы дегустаторов, за исключением образца с эритритом. Была отмечена

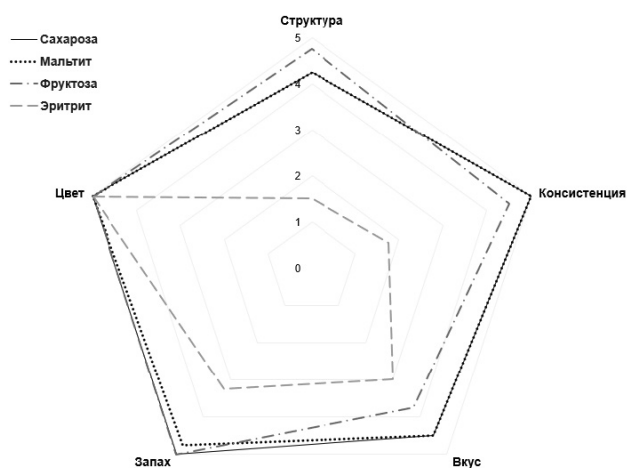


Рис. 3. Профилограмма органолептических показателей качества разработанных образцов мороженого

Fig. 3. Profilogram of organoleptic quality indicators for the developed ice cream samples

Таблица 3

Данные калориметрического анализа мороженого

Table 3

Calorimetric analysis of the ice-cream

	Температура стеклования, °С			T_p , °С	T_o , °С	T_p , °С	T_e , °С	IC% (-50 °С)	IC% (-18 °С)	IC% (-10 °С)
	Начало	Середина	Конец							
Мальтит	-36,3±0,3 ^a	-34,80±0,12 ^a	-33,1±0,5 ^a	-0,40±0,03 ^a	-4,83±0,11 ^a	0,62±0,04 ^a	3,43±0,05 ^a	95,8±1,3 ^a	91,2±0,5 ^a	75,3±0,2 ^a
Эритрит	-33,8±0,3 ^b	-31,91±0,23 ^b	-25,73±0,14 ^b	-9,5±0,4 ^b	-10,8±0,3 ^b	-2,3±0,4 ^b	-0,21±0,03 ^b	98,2±2,2 ^a	83,5±2,1 ^b	50,9±1,3 ^b
Сахароза	-34,4±0,4 ^b	-34,1±0,3 ^c	-33,72±0,21 ^a	-0,91±0,03 ^c	-4,93±0,26 ^a	0,11±0,03 ^c	2,31±0,12 ^c	95,2±1,1 ^a	90,6±2,3 ^a	73,6±1,6 ^a

*a, b, c — Значения в одном столбце, обозначенные разными буквами, различаются со статистической значимостью ($P < 0,05$)

высокая твердость последнего, а также больший «охлаждающий» эффект во рту. Ввиду более мягкой консистенции образец с фруктозой получил более высокую оценку структуры. Стоит отметить также разницу в сладости выбранных сахарозаменителей. Так, у мальтита, эритрита и фруктозы коэффициент сладости равен 0,7; 0,7 и 1,8, соответственно. В связи с этим, некоторые дегустаторы отмечали излишнюю сладость образца с фруктозой. Потребление фруктозы в больших количествах также повышает риск развития когнитивных заболеваний у детей, а также развития диабета второго типа и дисбиозов [1]. Однако, повышенная сладость фруктозы позволяет применять ее в меньших количествах. Тем не менее, снижение количества фруктозы в мороженом при использовании ее в качестве единственного сахарозаменителя вызывает сложности в формировании структуры продукта, что является обоснованием использования дополнительных структурообразователей или сахарозаменителей в мороженом на фруктозе.

На основании проведенного исследования установлено, что среди всех рассмотренных в данной работе сахарозаменителей мальтит наиболее схож с сахарозой по влиянию на формирование текстуры мороженого. Пищевая и энергетическая ценности контрольной рецептуры и рецептуры с мальтитом представлены в табл. 4.

Калорийность мороженого, приготовленного с использованием мальтита, несколько ниже по сравнению с вариантом на основе сахарозы. Тем не менее, помимо снижения энергетической ценности, мальтит обладает рядом дополнительных преимуществ. Мальтит не ферментируется оральными бактериями, благодаря чему не способствует развитию кариеса. Кроме того, мальтит обладает потенциалом снижения постпрандиальной гипергликемии за счёт меньшего гликемического и инсулинемического ответа по сравнению с сахарозой и глюкозой. Он может способствовать регуляции всасывания углеводов и повышению усвоения глюкозы мышцами, что делает его перспективным компонентом в продуктах для людей с нарушенным метаболизмом глюкозы [16]. Кроме того, было показано потенциальное пребиотическое действие мальтита. Так, потребление мальтита в комбинации с полидекстрозой приводило к увеличению количества бифидобактерий, лактобактерий и короткоцепочечных жирных кислот в фекалиях [17].

Хотя в Российской Федерации на данный момент нет ограничений на потребление мальтита и его ДСП не определено, при чрезмерном употреблении возможно возник-

Таблица 4

Пищевая и энергетическая ценности разработанного мороженого

Table 4

Nutrition and energy value of the ice-cream

Показатели	Контроль	Образец с мальтитом
Калорийность, ккал/100г	219,0	194,3
Белки, г/100г	3,7	3,7
Жиры г/100г	15,9	15,9
Углеводы г/100г	18,4	18,4

новение слабительного эффекта. Так, в работе [18] установлено, что данный эффект возможен при употреблении свыше 90 г в сутки. В связи с этим в Европейском союзе и таких странах, как Австралия, Канада, Норвегия, Мексика и Новая Зеландия, мальтитол имеет обязательное предупреждение: «Чрезмерное употребление может оказать ослабляющее действие» [19, 20]. Превышение показателя в 90 г мальтита в сутки возможно при единовременном потреблении свыше 700 мл мороженого, приготовленного по рецептуре, рассматриваемой в данной работе. Рекомендуется выносить данную информацию на этикетку продукции, а также рекомендовать меньшее суточное потребление мороженого даже с учетом полной замены сахарозы в составе.

Выводы

В работе показана возможность полной замены сахарозы на сахарозаменители без значительного ухудшения органолептических, физических и теплофизических показателей. Из рассмотренных в данной работе сахарозаменителей, мальтит оказался наиболее подходящим при полной замене сахара по массе, без изменения рецептуры, что объясняется наиболее схожими молекулярными массами этих веществ. Обладая более высоким коэффициентом сладости, фруктоза придавала мороженому излишне сладкий вкус. Излишняя мягкость образца с фруктозой и высокая скорость таяния затрудняет ее применение в качестве единственной замены сахарозе в мороженом. В свою очередь эритрит способствовал снижению точки кристаллизации. Излишнюю твердость мороженого с этим сахарозаменителем можно объяснить высоким содержанием свободного льда, что подтверждается калориметрическим анализом. Такая замороженная влага при расплавлении отслаивается в виде вытечки,

что не позволяет мороженому таять равномерно. Проведенное исследование показало некоторые трудности при использовании эритрита и фруктозы в качестве единственного сахарозаменителя в мороженом при полной замене без изменения рецептуры, однако, при подборе подходящих комбинаций сахарозаменителей и стабилизаторов данные сахарозаменители могут быть использованы для создания низкокалорийного мороженого.

Электромагнитная обработка мороженого на стадии закаливания не оказала значительного влияния на исследованные в данной работе параметры. Однако больший эффект может быть достигнут при применении технологии электромагнитной обработки в процессе фризирования мороженого, когда кристаллизация находится в активной фазе. Это объясняется тем, что электромагнитное поле оказывает более выраженный эффект на начальной стадии кристаллообразования, которая, в случае мороженого, выпадает на процесс фризирования. Тем не менее, подобная модификация условий фризирования затрудняется необходимостью интегрирования электромагнитных рамок с фризерирующим аппаратом, что требует дальнейших исследований.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российскойского научного фонда № 24-26-00283 «Эффект ультразвукового воздействия в технологии пробиотического мороженого» https://rscf.ru/prjcard_int?24-26-00283

Литература/References

- Gillespie K. M. et al. The impact of free sugar on human health — a narrative review. *Nutrients*. 2023. vol. 15. no 4. p. 889.
- Moriano M. E., Alamprese C. Honey, trehalose and erythritol as sucrose-alternative sweeteners for artisanal ice cream. A pilot study. *WT*. 2017. vol. 75. p. 329–334.
- Ozdemir C. et al. The production of ice cream using stevia as a sweetener. *Journal of Food Science and Technology*. 2015. vol. 52. p. 7545–7548.
- Fuangpaiboon N., Kijroongrojana K. Qualities and sensory characteristics of coconut milk ice cream containing different low glycemic index (GI) sweetener blends. *International Food Research Journal*. 2015. vol. 22. no 3.
- Ozdemir C. et al. The effects of using alternative sweeteners to sucrose on ice cream quality. *Journal of food quality*. 2008. vol. 31. no 4. p. 415–428.
- Saadi A. M. et al. Use of natural sweeteners (maple syrup) in production of low-fat ice cream. 2022.
- Hagiwara T., Hartel R. W. Effect of sweetener, stabilizer, and storage temperature on ice recrystallization in ice cream. *Journal of Dairy Science*. 1996. vol. 79. no. 5. p. 735–744.
- Anese M. et al. Effect of radiofrequency assisted freezing on meat microstructure and quality. *Food Research International*. 2012. vol. 46. no 1. p. 50–54.
- Hafezparast-Moadab N. et al. Effects of radiofrequency-assisted freezing on microstructure and quality of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fillet. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2018. vol. 47. p. 81–87.
- Xanthakis E., Le-Bail A., Ramaswamy H. Development of an innovative microwave assisted food freezing process. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 2014. vol. 26. p. 176–181.
- Jackson T. H., Urgan A., Critser J. K., Gao D. Novel microwave technology for cryopreservation of biomaterials by suppression of apparent ice formation. *Cryobiology*. 1997. vol. 34, no 4. p. 363–372.
- Лисин П. А. Практическое руководство по проектированию продуктов питания с применением Excel, MathCAD, Maple: учебное пособие. СПб.: Лань, 2021. [Lisin P. A. A practical guide to designing food products using Excel, MathCAD, Maple: a textbook. St. Petersburg: Lan Publ., 2021. 9in Russian]
- Soukoulis C., Lebesi D., Tzia C. Enrichment of ice cream with dietary fibre: Effects on rheological properties, ice crystallisation and glass transition phenomena. *Food Chemistry*. 2009. vol. 115. no 2. p. 665–671.
- Giudici P. et al. A mathematical modeling of freezing process in the batch production of ice cream. *Foods*. 2021. vol. 10. no 2. p. 334.
- Kim G. I. et al. Texture modification of 3D-printed maltitol candy by changing internal design. *Applied Sciences*. 2022. vol. 12. No 9. p. 4189.
- Hartel R. W. Crystallization in foods. *Handbook of industrial crystallization*. — Butterworth-Heinemann, 2002. p. 287–304.
- Saraiva A. et al. Maltitol: Analytical determination methods, applications in the food industry, metabolism and health impacts. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020. vol. 17. no. 14. p. 5227.
- Beards E., Tuohy K., Gibbon G. A human volunteer study to assess the impact of confectionery sweeteners on the gut microbiota composition. *British journal of nutrition*. 2010. vol. 104. no. 5. p. 701–708.
- Ruskone-Fourmestraux A. et al. A digestive tolerance study of maltitol after occasional and regular consumption in healthy humans. *European journal of clinical nutrition*. 2003. vol. 57. no. 1. p. 26–30.
- Awuchi C. G., Echeta K. C. Current developments in sugar alcohols: Chemistry, nutrition, and health concerns of sorbitol, xylitol, glycerol, arabitol, inositol, maltitol, and lactitol. *Int J Adv Acad Res*. 2019. vol. 5. no 11. p. 1–33.

Сведения об авторах

Тютков Никита

Аспирант факультета биотехнологий Университета ИТМО, инженер, международный научный центр «Биотехнологии третьего тысячелетия», Университет ИТМО, 191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, nikita_tytkov@mail.ru

Information about authors

Tyutkov Nikita

Postgraduate of Faculty of Biotechnologies (BioTech), Engineer, International Scientific Center «Biotechnologies of the Third Millennium», ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, nikita_tytkov@mail.ru

Александрова Ирина Витальевна

Аспирант факультета биотехнологий Университета ИТМО, инженер, международный научный центр «Биотехнологии третьего тысячелетия», Университет ИТМО, 191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, alexandrova.iv98@gmail.com

Alexandrova Irina V.

Postgraduate of Faculty of Biotechnologies (BioTech), Engineer, International Scientific Center «Biotechnologies of the Third Millennium», ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, alexandrova.iv98@gmail.com

Сорокина Ангелина Сергеевна

Студент факультета биотехнологий Университета ИТМО, 191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, gillya@mail.ru

Sorokina Angelina S.

Student of the Faculty of Biotechnologies (BioTech), ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, st. Lomonosov, 9, gillya@mail.ru

Лепешкин Артем Ильич

К. т. н., научный сотрудник, международный научный центр «Биотехнологии третьего тысячелетия», Университет ИТМО, 191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, artem.lepeshkin@itmo.ru

Lepeshkin Artem I.

Ph. D., Research Associate, International Scientific Center «Biotechnologies of the Third Millennium», ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, artem.lepeshkin@itmo.ru

Бараненко Денис Александрович

К. т. н., доцент факультета биотехнологий Университета ИТМО, руководитель подразделения, международный научный центр «Биотехнологии третьего тысячелетия» Университет ИТМО, 191002, Россия, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9, denis.baranenko@itmo.ru

Baranenko Denis A.

Ph. D., Associate Professor of Faculty of Biotechnologies (BioTech), Head of Division, International Scientific Center «Biotechnologies of the Third Millennium», ITMO University, 191002, Russia, St. Petersburg, Lomonosov str., 9, denis.baranenko@itmo.ru



Статья доступна по лицензии

Creative Commons «Attribution-NonCommercial»



24-я Международная выставка оборудования для
производства молока и молочной продукции

DairyTech 2026

27–29 января 2026 г.

Международная выставка **DairyTech** — это единственная в России специализированная площадка, где представлен полный спектр оборудования не только для переработки молока и производства молочной продукции, но и современные технологии для мясоперерабатывающей отрасли.

РАЗДЕЛЫ ВЫСТАВКИ:

- ❖ Оборудование для приемки молока.
- ❖ Оборудование и технологии для переработки молока.
- ❖ Упаковочное оборудование и технологии.
- ❖ Ингредиенты и закваски для молочных продуктов, напитков.
- ❖ Оборудование и технологии для производства мороженого.
- ❖ Холодильное и морозильное оборудование.
- ❖ Маркировочное оборудование. Готовая упаковка и этикетка.
- ❖ Оборудование и технологии для розлива.
- ❖ Программы и средства автоматизации производства.
- ❖ Оборудование и технологии для переработки мяса.
- ❖ Сервис и инжиниринг для пищевых производств.

Место проведения:

Россия, Москва, МВЦ «Крокус Экспо», павильон 1
<http://www.crocus-expo.ru>

Организатор выставки: ITE Group

Горячая линия:
+7 (495) 799-55-85
E-mail: md@ite.group
<https://dairytech-expo.ru/ru/>