

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-604-614>
УДК 637.674

Оригинальная статья
<http://fptt.ru>

Влияние замены сахарозы глюкозно-фруктозным сиропом на показатели качества мороженого пломбир



Т. В. Шобанова*, А. А. Творогова

Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности, Москва, Россия

Поступила в редакцию: 17.03.2021

Принята после рецензирования: 27.04.2021

Принята в печать: 15.07.2021

*e-mail: t.shobanova@yandex.ru



© Т. В. Шобанова, А. А. Творогова, 2021

Аннотация.

Введение. В последние годы возрастает производство продукции функциональной направленности с низким гликемическим индексом за счет снижения или исключения сахарозы из рецептуры. Научную новизну определяет экспериментальное подтверждение синергетического влияния массовой доли жира и глюкозно-фруктозных сиропов на динамическую вязкость, термо- и формоустойчивость продукта, а также на снижение криоскопической температуры при замене сахарозы на глюкозно-фруктозный сироп. Цель работы – изучение влияния замены сахарозы глюкозно-фруктозными сиропами на показатели качества мороженого пломбир.

Объекты и методы исследования. Мороженое пломбир с массовой долей сахарозы 14 % и с заменой 3, 5 и 14 % сахарозы. Применялись реологические, термометрические, термостатические и расчетные методы исследований.

Результаты и их обсуждение. Определены гликемический индекс образцов мороженого с заменой сахарозы на глюкозно-фруктозный сироп (38–57) и гликемическая нагрузка на порцию 70 г (5,3–7,8); контроль – 60 и 8,5 соответственно. Получены экспериментальные данные, свидетельствующие об отсутствии отрицательного влияния замены сахарозы глюкозно-фруктозным сиропом на показатели качества мороженого пломбир. Динамическая вязкость смесей для мороженого составила 580–640 мПа·с (контроль 563 мПа·с). Диаметр воздушных пузырьков после закалывания не превышал 30 мкм, средний размер кристаллов льда составил 30–34 мкм. Обоснована необходимость понижения температуры выгрузки из фризера мороженого пломбир при использовании глюкозно-фруктозного сиропа с –4,6 до –5–7 °С.

Выводы. Использование глюкозно-фруктозных сиропов в производстве мороженого пломбир позволяет полностью и частично заменять сахарозу при сохранении показателей качества традиционного продукта (динамическая вязкость, термо- и формоустойчивость, дисперсность воздушной фазы и кристаллов льда). При этом происходит снижение гликемического индекса в 1,6 раза при полной замене сахарозы на глюкозно-фруктозный сироп. Исследования показали перспективность исследований по замене сахарозы в мороженом пломбир на ингредиенты с более низким гликемическим индексом.

Ключевые слова. Пломбир, сахароза, глюкозно-фруктозный сироп, криоскопическая температура, гликемический индекс, вымороженная вода

Для цитирования: Шобанова Т. В., Творогова А. А. Влияние замены сахарозы глюкозно-фруктозным сиропом на показатели качества мороженого пломбир // Техника и технология пищевых производств. 2021. Т. 51. № 3. С. 604–614. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-604-614>.

Original article

Available online at <http://fptt.ru/eng>

The Effect of Replacing Sucrose with Glucose-Fruit Syrup on the Quality Indicators of Plombières Ice-Cream

Tatyana V. Shobanova*, Antonina A. Tvorogova

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

Received: March 17, 2021

Accepted in revised form: April 27, 2021

Accepted for publication: July 15, 2021

*e-mail: t.shobanova@yandex.ru



Abstract:

Introduction. As functional products with a low glycemic index are becoming more and more popular, sucrose is gradually leaving food formulations. Glucose-fructose syrups (GFS) serve as substitutes for sucrose because they have a low glycemic index. The present research objective was to prove that GFS can be used for industrial production of functional foods, e.g. Plombières ice-cream with a low glycemic index. The list of technologically significant quality indices to be studied included dynamic viscosity, overrun, thermal and dimensional stability, and dispersion of the air phase and ice crystals. The experiment confirmed the synergistic effect of the mass fraction of fat and GFS on the dynamic viscosity, thermal and dimensional stability of the product, and a decrease of cryoscopic temperature.

Study objects and methods. The research featured Plombières ice-cream. The control sample had a mass fraction of sucrose 14%; the experimental samples had a partial (3 and 5%) and complete replacement (14%) of sucrose. Rheological research methods helped to determine the dynamic viscosity; thermometric methods were used to measure the cryoscopic temperature of the mix and the temperature at unloading ice cream from the freezer, weighing methods – to determine the overrun, thermostatic methods – to establish thermal and shape stability, calculating methods – to define the share of frozen water, glycemic index, glycemic load, and sweetness.

Results and discussions. The glycemic index of the test samples was 38–57, of the control sample – 60. The glycemic load per portion of 70 g was 5.3–7.8 (8.5 for control). The dynamic viscosity of ice cream mixes was 580–640 mPa·s (control – 563 mPa·s), the cryoscopic temperature –2.52–3.48°C, (control –2.32°C), and the temperature of unloading of the ice cream from the freezer at the share of frozen water of 50% was –5–7°C (control –4.6°C). As for thermal stability, after 90 min, the mass fraction of melt in the control sample was 35%, while in the sample with a complete replacement of sucrose, it was only 2%. In all the test samples, the structural elements had almost the same size. The diameter of air bubbles did not exceed 30 µm after hardening; the average size of ice crystals was 30–34 µm. The experimental data revealed no negative effect of replacing sucrose with GFS on the quality indicators of Plombières ice-cream.

Conclusion. Glucose-fructose syrups can completely or partially replace sucrose while maintaining the quality parameters of Plombières ice-cream, e.g. dynamic viscosity, thermal and dimensional stability, dispersion of the air phase and ice crystals. The glycemic index decreased 1.6 times with a complete replacement of sucrose. Therefore, GFS can lower the glycemic index of Plombières ice-cream.

Keywords. Ice cream, sucrose, glucose-fructose syrup, cryoscopic temperature, glycemic index, frozen water

For citation: Shobanova TV, Tvorogova AA. The Effect of Replacing Sucrose with Glucose-Fruit Syrup on the Quality Indicators of Plombières Ice-Cream. Food Processing: Techniques and Technology. 2021;51(3):604–614. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-604-614>.

Введение

Несмотря на увеличение спроса во всем мире на продукты функциональной направленности, высокой популярностью у потребителей пользуется мороженое пломбир (за рубежом – мороженое премиум-класса). Эта разновидность мороженого характеризуется высокими потребительскими показателями из-за своего сбалансированного химического состава и высокой массовой доли жира [1]. Входящие в состав мороженого жиры, белки и сахара выполняют свою функциональную роль в технологии и формировании показателей качества.

Сахара в мороженом представлены добавленным сахаром – сахарозой и входящей в состав СОМО лактозой. Доля сахарозы в мороженом пломбир превышает 35 %. Она выполняет роль не только сухого вещества в мороженом, но и усилителя вкуса жира и источника сладости.

В связи с высоким содержанием сахарозы мороженое относят к продуктам со средним гликемическим индексом (ГИ), что может ограничивать его потребление. ГИ – это показатель

скорости насыщения крови сахаром после приема того или иного продукта питания [6]. Все продукты питания можно разделить на три категории по гликемическому индексу: низкий – не более 55, средний – от 56 до 69, высокий – свыше 70. Замена сахарозы компонентами с низким ГИ может стать альтернативным способом производства мороженого для лиц, ограничивающих потребление сахарозы. ТР ТС 033/2013 предусмотрена возможность использования в производстве мороженого других сахаров вместо сахарозы на том же уровне.

Еще одним важным показателем, учитываемым при решении вопросов здорового питания, является гликемическая нагрузка (Glycemic Load – GL). Данный показатель позволяет судить о фактическом уровне гликемической нагрузки при потреблении конкретного количества углеводов в одной порции и в суточном пищевом рационе [7].

За рубежом в качестве замены сахарозы используют продукты переработки крахмалов из картофеля, кукурузы, пшеницы и тапиоки. К ним относятся и глюкозно-фруктозные сиропы (ГФС)

Таблица 1. Молекулярная масса сахаров и коэффициент понижения ими точки замерзания

Table 1. Molecular weight of sugars and the coefficient of lowering their freezing point

Сахара	Молекулярная масса сахаров	Коэффициент понижения точки замерзания
Мальтодекстрин (ДЭ 10)	504	0,21
Кукурузная патока (ДЭ 43)	428	0,80
Мальтоза	342	0,98
Сахароза	342	1,00
Лактоза	342	1,00
ГФС-42	180	1,76
ГФС-55	180	1,78
Декстроза (глюкоза)	180	1,86
Фруктоза	180	1,92
Галактоза	180	1,92

с низким гликемическим индексом. Кроме того, в небольших количествах для восполнения сухих веществ сахарозы используют мальтодекстрины, сухие глюкозные сиропы, патоку и пищевые волокна [8]. Эффективным заменителем сахарозы по сладости является фруктоза, характеризующаяся низким значением ГИ 20.

При подборе заменителей сахарозы учитываются их молекулярные массы, т. к. растворимость углеводов и их сладость находятся в обратной зависимости от их молекулярной массы, а вязкость их растворов в прямой. В мороженом внесенные сахара пребывают в виде истинного раствора, что оказывает влияние на криоскопическую температуру, от которой зависит доля вымороженной влаги. В таблице 1 представлены данные по влиянию молекулярной массы сахаров на коэффициент понижения точки замерзания [9, 10].

Сахара с высокой молекулярной массой, по сравнению с сахарозой, повышают количество центров кристаллизации влаги за счет увеличения доли вымороженной воды при фризировании.

При использовании сахаров с меньшей молекулярной массой, чем у сахарозы, в производстве смесей для мороженого понижается их криоскопическая температура. Следовательно, доля вымороженной влаги в процессе фризирования тоже становится ниже [11, 12].

В настоящее время на российских предприятиях, производящих пищевую продукцию, используются в большом ассортименте различные заменители сахара. Большинство из них относятся к пищевым добавкам, что вызывает недоверие у потребителей [13].

Глюкозно-фруктозные сиропы получают изомеризацией части D-глюкозы в D-фруктозу с итоговым содержанием фруктозы от 20 до 50 % от массовой доли сухого вещества. ГФС,

которые содержат более 50 % фруктозы в своем составе, называется высокофруктозным [10, 14]. Благодаря высокому содержанию фруктозы ГФС незначительно слаще сахарозы, они меньше склонны к кристаллизации и хорошо растворимы в воде. Глюкозно-фруктозные сиропы, которые содержат от 55 до 60 % фруктозы, более устойчивы к самопроизвольной кристаллизации при температуре 10–15 °С. Это делает возможным их хранение без дополнительного подогрева [15, 16].

За счет схожего вкусового профиля и уровня сладости с сахарозой и дешевизны, по сравнению с тростниковым и свекловичным сахаром, ГФС широко используют в производстве различных напитков, мучной и кондитерской продукции, а также мороженого и ряда других изделий [17–19]. Производство и внедрение ГФС в пищевую промышленность началось с конца 1960-х в США, где они производились из кукурузного крахмала и назывались high-fructose corn syrup (HFCS) (кукурузные сиропы с высоким содержанием фруктозы). Их производили с содержанием фруктозы 42 (HFCS-42) или 55 % (HFCS-55), реже с более высокой массовой долей. В России, как и в странах Европы, для производства ГФС в качестве заменителя кукурузы используется пшеница [20].

Разновидность ГФС – концентрат фруктозный пшеничный (ГФС-70). Его получают из пшеничного крахмала посредством ферментативного гидролиза, последующего осахаривания до высокого содержания глюкозы и частичной изомеризации ее во фруктозу, концентрирования и упаривания. Массовая доля сухих веществ в ГФС-70 составляет не менее 76,0 %. Из них на долю фруктозы приходится не менее 73,0 %, глюкозы – не менее 22,0 %, других сахаров – не более 5,0 %.

Фруктоза и глюкоза являются моносахарами и обладают сладостью по отношению к сахарозе – 1,75 и 0,75 соответственно. Расчетная относительная сладость ГФС-70 составляет 1,05.

Глюкозно-фруктозные сиропы являются полноценными заменителями сахарозы как по сладости, так и по сухому веществу. Также они обладают рядом преимуществ, такими как быстрое усвоение организмом и более низкая стоимость [13, 21, 22].

За счет сладости этих продуктов, которая близка к сладости сахарозы, можно говорить о целесообразности их применения в мороженом для полной и частичной замены сахарозы по сладости и сухому веществу. Применение заменителей сахарозы с низкой молекулярной массой отрицательно влияет на формирование структуры и дисперсность структурных элементов. Учитывая структурирующую роль жира, можно сделать вывод о целесообразности проведения замены сахарозы на низкомолекулярные сахара в мороженом с высокой массовой долей жира [2–5].

Целью исследования являлось изучение влияния замены сахарозы глюкозно-фруктозными сиропами на технологически значимые показатели качества мороженого пломбир: динамическую вязкость, взбитость, термо- и формоустойчивость, дисперсность воздушной фазы и кристаллов льда для обоснования применения сиропов в промышленных условиях для производства продукта с низким гликемическим индексом.

Объекты и методы исследования

Образцы мороженого пломбир были выработаны на экспериментальном стенде ВНИХИ в лаборатории технологии мороженого в соответствии с традиционной схемой производства мороженого.

Для определения гликемического индекса и гликемической нагрузки (ГН) применялись расчетные методы. При расчете ГИ мороженого учитывали гликемический индекс каждого из углеводов и их долю в общей массовой доле углеводов. При расчете ГН продукта учитывали значение ГИ углеводов и их долю.

Определение динамической вязкости смесей для мороженого проводили на вискозиметре Brookfield DV-II+Pro с программным обеспечением Rheocalc V3.1-1 с измерительным шпинделем SC4-31. Исследования выполняли при постоянной температуре смеси $4 \pm 0,5$ °С.

Для определения температуры замерзания смесей применяли прибор для определения температуры замерзания – криоскоп ОСКР-1.

Для определения взбитости мороженого использовали расчетный метод, основанный на измерении масс смеси и мороженого. Взбитость мороженого (V , %) вычисляли по формуле:

$$V = (M_2 - M_3 / M_3 - M_1) \times 100 \% \quad (1),$$

где M_1 – масса стакана, г; M_2 – масса стакана, заполненного смесью, г; M_3 – масса стакана, заполненного мороженым, г.

Термоустойчивость мороженого определяли при температуре $20 \pm 0,5$ °С в течение 2 ч. Образец мороженого ($m_{\text{мор}}$) с температурой -18 °С взвешивали и помещали на сито в термостат. По прошествии 60 мин взвешивали массу плава в чашке ($m_{\text{пл}}$), установленной под ситом. Затем определяли массу плава через каждые 10 мин в течение часа. Данный метод основан на способности мороженого сопротивляться таянию в процессе его выдерживания при температуре $20 \pm 0,5$ °С.

За конечный результат принимали массовую долю плава (W) в % в каждой точке измерения, которую вычисляли по формуле 2:

$$W = \frac{m_{\text{пл}}}{m_{\text{мор}}} \times 100 \quad (2)$$

Формоустойчивость образцов определяли при

температуре $20 \pm 0,5$ °С в течение 60 мин. Подготовку пробы мороженого проводили следующим образом: из исследуемого образца с температурой -18 °С металлическим пробником, предварительно выдержанным не менее 4 ч при температуре -18 °С, отбирали пробу, помещали ее в заранее охлажденную до температуры -18 °С чашку Петри и затем переносили в термостат. Данный метод основан на способности мороженого сохранять форму в процессе выдерживания образца при температуре $20 \pm 0,5$ °С. Образцы оценивались визуально. Для этого каждые 10 мин их фотографировали сверху и под углом 45° .

Состояние воздушной фазы и кристаллов льда определяли с помощью микроскопических исследований с использованием микроскопа Olympus CX 41 со встроенной фотокамерой, а также термо- и крио-столиком PE 120. Проводили качественную (микроструктурную) и количественную оценку (по кривым распределения частиц по размерам, их среднему размеру и количественной доли до 50 мкм (порог органолептической осmittимости для кристаллов)) дисперсности воздушной фазы и кристаллов льда. Полученные изображения обрабатывались с помощью программного обеспечения ImageScore M. Полученные данные обрабатывали с помощью средств MS Excel и TableCurve 2D v5.01. Для каждого образца обсчитывалось не менее 3-х фотографий. Определяли кривую распределения и модель с коэффициентом детерминации не менее 0,9.

Результаты и их обсуждение

Обоснование композиционного состава экспериментальных партий мороженого пломбир. При исследовании возможности различной степени замены сахарозы ГФС-70 в мороженом пломбир учитывали наличие в нем высокой массовой доли жира и сухих веществ, оказывающих положительное влияние на формирование структуры и вкусовых ощущений. При исследовании влияния ГФС-70 на показатели качества мороженого увеличение массовой доли стабилизационной системы и массовой доли общих сухих веществ в связи с увеличением моносахаров в составе продукта не было предусмотрено. В таблице 2 представлены характеристики мороженого пломбир с м.д.ж. 12 %.

Были изготовлены экспериментальные образцы: № 1 – контроль, содержащий 14 % сахарозы; № 2 – 11 % сахарозы и 3 % ГФС-70; № 3 – 11 % сахарозы, 5 % ГФС-70 и 8 % СОМО; № 4 – образец с полной замены сахарозы на ГФС-70 (14 %). Во всех образцах продукта суммарная массовая доля сахаров составляла не менее 14 %, что позволило относить этот продукт к категории «мороженое пломбир».

Определение гликемического индекса и гликемической нагрузки в экспериментальных образцах мороженого пломбир. Гликемический индекс

Таблица 2. Химический состав мороженого пломбир с м.д.ж. 12 %

Table 2. Chemical composition of Plombières ice-cream with mass fraction of fat = 12%

Массовая доля сух. в-в, %	Образец			
	№ 1 (контроль)	№ 2	№ 3	№ 4
Молочный жир	12	12	12	12
СОМО	10	10	8	10
Сахароза	14	11	11	–
Стабилизатор	0,45	0,45	0,45	0,45
ГФС-70	–	3	5	14
Итого	36,0	36,0	36,0	36,0

100 г мороженого определяли расчетным путем с учетом гликемического индекса углеводов и доли каждого из них в общей массовой доле углеводов. Результаты расчета приведены в таблице 3.

Как следует из данных, приведенных в таблице 3, при частичной замене сахарозы на ГФС-70 гликемический индекс снизился не более чем в 1,1 раза, при полной замене – более чем в 1,5 раза. При этом во всех образцах с ГФС-70 расчетная сладость была не ниже, чем при использовании сахарозы.

При расчете гликемической нагрузки продукта массой 70 г учитывали значение ГИ и долю углеводов в нем. ГН образцов мороженого пломбир (масса порции 70 г) представлена в таблице 4.

Как следует из данных таблицы 4, гликемическая нагрузка 1 порции мороженого пломбир при полной замене сахарозы на ГФС снижается в 1,6 раза. А ГН при потреблении порции мороженого пломбир без сахарозы составляет 6,6 % от рекомендуемого уровня низкого значения этого показателя (80 %).

Исследование физических показателей мороженого пломбир. С целью определения технологических параметров процесса производства в экспериментальных образцах определяли:

- динамическую вязкость смесей для мороженого пломбир;
- криоскопическую температуру смесей для мороженого;

Таблица 3. Гликемический индекс и степень сладости образцов

Table 3. Glycemic index and sweetness

Образец	Гликемический индекс	Степень сладости относительно сахарозы
№ 1 (контроль)	60	1,00
№ 2	57	1,02
№ 3	55	1,18
№ 4	38	1,09

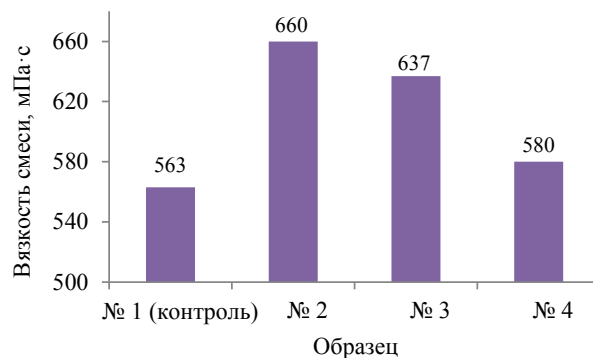


Рисунок 1. Динамическая вязкость смесей в исследуемых образцах

Figure 1. Dynamic viscosity of the Plombières mixes

– температуру мороженого на выходе из цилиндра фризера;

– взбитость мороженого на выходе из фризера.

Определение динамической вязкости смесей для мороженого. Увеличение вязкости смеси для мороженого является желаемым и положительно влияет на дисперсность структурных элементов (воздушные пузырьки и кристаллы льда).

Полученные результаты исследования динамической вязкости при градиенте сдвига на срез $0,83 \text{ с}^{-1}$ представлены на рисунке 1.

Исследования динамической вязкости показали, что замена сахарозы глюкозно-фруктозным сиропом приводит к повышению динамической вязкости на 3–17 %. При этом наибольший синергизм сахарозы

Таблица 4. Гликемическая нагрузка образцов

Table 4. Glycemic load

Образец	Содержание углеводов, г	Гликемический индекс, %	Гликемическая нагрузка на порцию 70 г
№ 1 (контроль)	13,7	62	8,5
№ 2	13,7	57	7,8
№ 3	14,3	56	8,0
№ 4	13,7	39	5,3

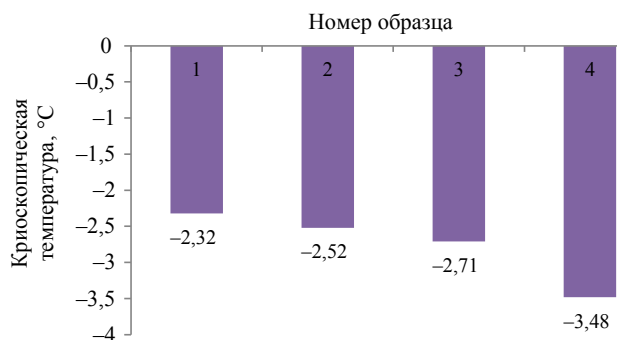


Рисунок 2. Криоскопическая температура смесей для мороженого пломбир

Figure 2. Cryoscopic temperature of the Plombières mixes

и ГФС по этому показателю отмечен при замене 3 % сахарозы.

Исследование влияния ГФС-70 на криоскопическую температуру смесей, температуру выгрузки из фризера и взбитость мороженого. Результаты определения криоскопической температуры смесей представлены на рисунке 2. В связи с увеличением в продукте содержания моносахаров (фруктозы и глюкозы) и по мере повышения доли замены сахарозы на ГФС-70 криоскопическая температура снижалась. Этот показатель в образце с полной заменой сахарозы на ГФС-70 (№ 4) был ниже в 1,5 раза, чем в контрольном образце (№ 1).

Определена температура мороженого на выходе из фризера с учетом криоскопической температуры смесей и необходимости достижения во фризере не менее 50 % доли вымороженной воды (табл. 5).

Доля вымороженной воды (ω , %) – относительное количество воды, превратившееся в лед при замораживании. Количество вымороженной воды определяли по формуле Рауля-Чижова:

$$\omega = 1 - \frac{t_{кр}}{T} \quad (3)$$

где $t_{кр}$ – криоскопическая температура, °C; T – температура, при которой определяется доля вымороженной воды, °C

Таблица 5. Физические показатели образцов при фризеровании

Table 5. Physical indicators during freezing

Показатель	№ 1 (контроль)	№ 2	№ 3	№ 4
Температура смеси, °C	5,4	5,7	5,5	5,0
Температура мороженого при выгрузке из фризера, °C	-4,6	-5,0	-5,4	-7,0
Взбитость, %	76	68	68	62

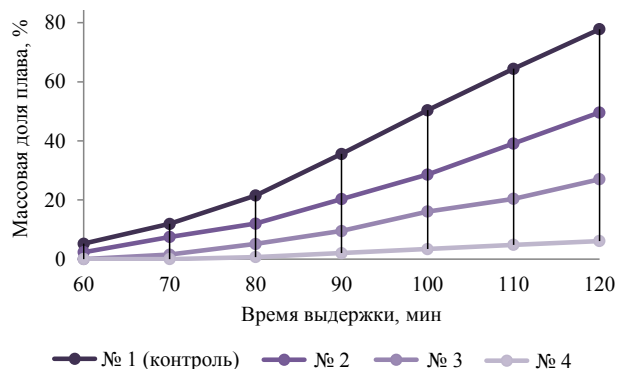


Рисунок 3. Влияние ГФС-70 на термоустойчивость мороженого пломбир

Figure 3. Effect of GFS-70 on the thermal stability of Plombières ice-cream

Физические показатели смеси и мороженого представлены в таблице 5.

Как следует из данных, приведенных в таблице 5, температура мороженого с полной заменой сахарозы на ГФС-70 и контрольного образца, как и криоскопическая температура, отличались в 1,5 раза.

Взбитость мороженого с использованием ГФС-70 как для полной, так и для частичной замены сахарозы незначительно отличалась от взбитости контрольного образца. Однако тенденция снижения способности смеси к насыщению воздухом по мере повышения содержания ГФС-70 прослеживалось.

Исследование влияния ГФС-70 на термо- и формоустойчивость мороженого. Определено влияние ГФС-70 на термоустойчивость мороженого пломбир. Динамика таяния исследуемых образцов мороженого отражена на рисунке 3.

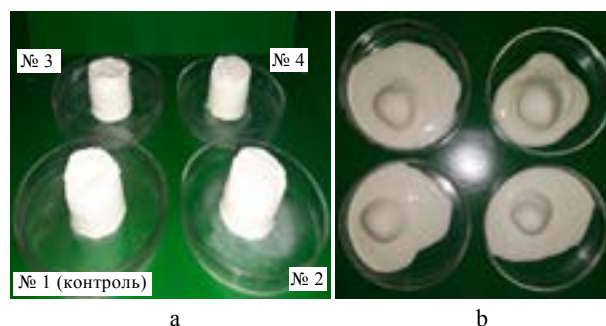


Рисунок 4. Форма порций мороженого пломбир: а – в начале; б – через 60 мин выдерживания при температуре 20 °C

Figure 4. Form of ice cream portions: a – at the onset; b – after 60 min of exposure to 20°C

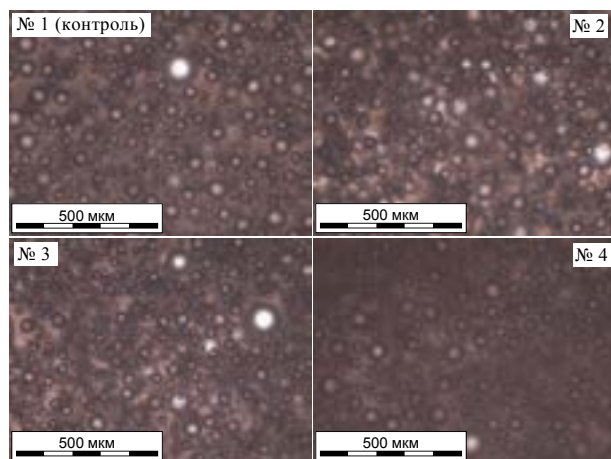


Рисунок 5. Микрофотографии состояния воздушной фазы в мороженом после закаливания

Figure 5. Micrographs of the air phase after hardening

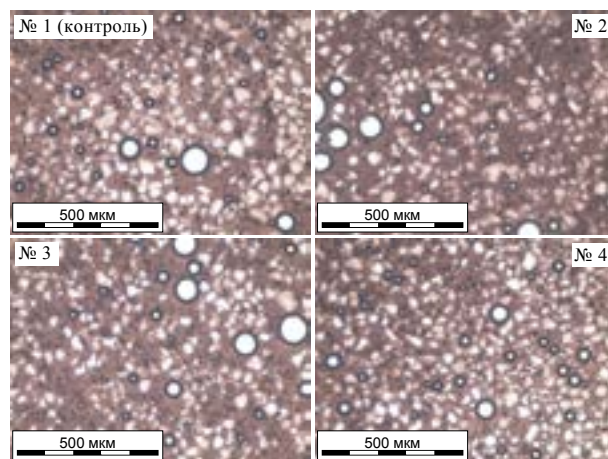


Рисунок 6. Микрофотографии кристаллов льда после закаливания

Figure 6. Micrographs of ice crystals after hardening

Как следует из данных, приведенных на рисунке 3, все образцы мороженого характеризуются высокой термоустойчивостью. При этом, несмотря на увеличение содержания моносахаров в образцах с ГФС-70, количество плава в них было меньше, чем в контрольном образце. По истечении 90 мин массовая доля плава в контрольном образце составила 35 %, а при полной замене сахарозы всего 2 %.

На рисунке 4 представлено состояние формы образцов мороженого пломбир с различными массовыми долями сахарозы и ГФС-70 в процессе выдерживания. По формоустойчивости образцы с частичной (№ 2, 3) и полной (№ 4) заменой сахарозы сиропом незначительно отличались от контрольного образца (№ 1).

Исследование дисперсности воздушной фазы и кристаллов льда в мороженом. Проведена качественная и количественная оценка дисперсности воздушных пузырьков и кристаллов льда. Качественная оценка дисперсности воздушной фазы и кристаллов льда представлена на рисунках 5 и 6.

Количественную оценку дисперсности воздушной фазы и кристаллов льда в процессе хранения проводили с учетом среднего диаметра этих структурных элементов и распределения их по размерам (рис. 7 и 8).

Установлено, что во всех образцах как с частичной, так и с полной заменой сахарозы сиропом диаметр воздушных пузырьков после закаливания не отличался и составлял 30 мкм, как и в контрольном образце.

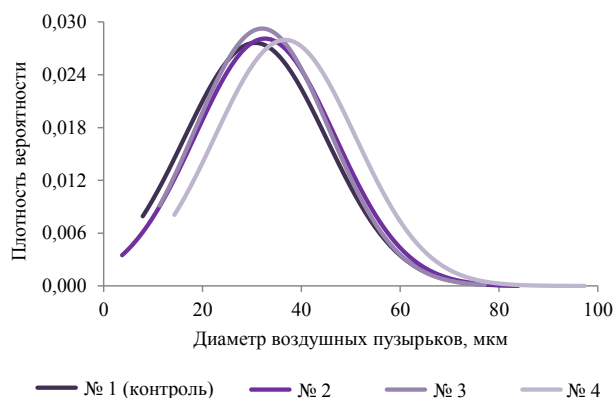


Рисунок 7. Кривые распределения воздушных пузырьков через 3 месяца хранения мороженого

Figure 7. Curves of distribution of air bubbles after 3 months of storage

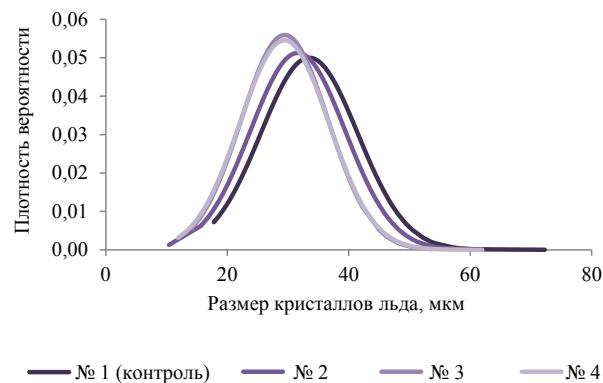


Рисунок 8. Кривые распределения кристаллов льда через 3 месяца хранения мороженого

Figure 8. Curves of ice crystal distribution after 3 months of storage

Наименьший средний диаметр воздушных пузырьков после закаливания отмечен в образце с 5 % сиропа – не более 26 мкм.

Определены уравнения кривых распределения воздушных пузырьков по размерам (табл. 6) и площади под кривыми распределения на интервалах до 50 мкм, от 50 до 70 мкм и более 70 мкм (табл. 7). Из полученных данных следует, что количество пузырьков воздуха размером менее 50 мкм в экспериментальных образцах доминирует. При этом доля площади под кривой распределения для этой группы структурных элементов составляет 82–92 %, в контрольном образце 91 %.

В образце № 4 (с полной заменой сахарозы) через 3 месяца хранения произошло снижение

дисперсности воздушных пузырьков. Количественная доля пузырьков размером до 50 мкм составила около 82 %, пузырьков размером до 70 мкм было больше на 9 %, чем в контрольном образце (№ 1). При этом средний диаметр не превышал 35 мкм.

Установлено, что средний размер кристаллов льда во всех образцах мороженого после закаливания не отличался и составил 30–34 мкм. По данным плотности вероятности распределения размеров кристаллов льда следует, что наибольшая дисперсность кристаллов льда достигнута в образцах № 3 и 4 (с массовыми долями ГФС-70 5 и 14 % соответственно) (рис. 8). Такая же тенденция отмечена при анализе долей площади под кривой распределения кристаллов льда (табл. 9), описываемых уравнениями (табл. 8).

Таблица 6. Уравнение кривых распределения

Table 6. Equation of distribution curves

Образец	Уравнение	Коэффициент				R ²
		a	b	c	d	
№ 1 (контроль)	$\ln y = a+bx+cx^2+dx^3$	-5,85133	0,14772251	-0,00241	3,95E-09	0,99
№ 2		-6,22416	0,16273642	-0,00249	3,56E-10	0,99
№ 3		-6,30314	0,17304089	-0,0027	-5,30E-09	0,99
№ 4		-6,90247	0,18125873	-0,00247	2,40E-09	0,99

Таблица 7. Площади на интервалах под кривыми распределения воздушных пузырьков

Table 7. Areas at intervals under the curves of distribution of air bubbles

Образец	Срок хранения	Площадь на интервале менее 50 мкм, ед. ²	Площадь на интервале от 50 до 70 мкм, ед. ²	Площадь на интервале более 70 мкм, ед. ²
№ 1 (контроль)	3 мес	0,91	0,09	~ 0
№ 2		0,89	0,11	
№ 3		0,91	0,09	
№ 4		0,82	0,18	

Таблица 8. Уравнение кривых распределения

Table 8. Equation of distribution curves

Образец	Уравнение	Коэффициент				R ²
		a	b	c	d	
№ 1 (контроль)	$\ln y = a+bx+cx^2+dx^3$	-11,814351	0,52639044	-0,00786	1,90E-09	0,99
№ 2		-11,221225	0,5217306	-0,00825	-2,44E-09	
№ 3		-11,4062	0,57859946	-0,09821	1,09E-10	
№ 4		-10,988349	0,5493637	-0,00934	-6,67E-10	

Таблица 9. Площади на интервалах под кривыми распределения кристаллов льда через 3 месяца хранения

Table 9. Areas at intervals under the curves of distribution of ice crystals after 3 months of storage

Образец	Площадь на интервале менее 50 мкм, ед. ²	Площадь на интервале от 50 до 70 мкм, ед. ²	Площадь на интервале более 70 мкм, ед. ²
№ 1 (контроль)	0,98	0,02	0
№ 2	0,99	0,01	
№ 3	1	0	
№ 4	1	0	

Как следует из данных, приведенных на рисунках 6 и 8 и таблицах 8 и 9, использование ГФС-70 в рецептурах мороженого пломбир приводит к увеличению дисперсности кристаллов льда. Увеличение содержания сиропа в продукте приводит к формированию более мелких кристаллов льда. Через 3 месяца хранения количественная доля кристаллов льда размером не более 50 мкм (порог органолептической оскутмости) в образцах № 3 и 4 составила 100 %. Это влияет на положительное решение вопроса о возможности изготовления мороженого пломбир в производственных условиях.

Выводы

В ходе исследований выявлены закономерности влияния замены сахарозы в мороженом пломбир на глюкозно-фруктозный сироп:

- отмечена положительная тенденция к увеличению динамической вязкости смеси (на 3–17 %) и устойчивости к таянию;
- высокая способность смеси к насыщению воздухом;
- формирование кристаллов льда и воздушных пузырьков с высокой дисперсностью;
- понижение криоскопической температуры на 0,2–1,2 °С и температуры выгрузки мороженого

из фризера на 0,4–2,4 °С для достижения доли вымороженной воды не менее 50 %.

Установлено, что при замене сахарозы глюкозно-фруктозными сиропами снижается гликемический индекс продукта в 1,6 раза при полной замене сахарозы.

Критерии авторства

А. А. Творогова – постановка и научное руководство исследованиями. Т. В. Шобанова – обзор литературы, проведение и обработка результатов экспериментальных исследований.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

A.A. Tvorogova defined the goal and supervised the research. T.V. Shobanova reviewed scientific publications, conducted the research, and processed the experimental results.

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Control of the process of structure formation of “premium” class ice cream using monostabilizers / A. A. Tvorogova [et al.] // Refrigeration science and technology proceedings: Proceedings of the 25-th IIR International Congress of Refrigeration. Montreal. 2019. P. 2901–2907.
2. Шобанова Т. В., Творогова А. А. Влияние жировой фазы на технологически значимые показатели мороженого пломбир без эмульгаторов // Пищевые системы. 2018. Т. 1. № 2. С. 4–11. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-2-4-11>.
3. Гофф Г. Д., Гартел Р. У. Мороженое. СПб.: Профессия, 2016. 537 с.
4. Milliatti M. C., Lannes S. C. S. Impact of stabilizers on the rheological properties of ice creams // Food Science and Technology. 2018. Vol. 38. № 4. P. 733–739. <https://doi.org/10.1590/fst.31818>.
5. Исследование структурирующей способности жира в мороженом пломбир без эмульгаторов / А. А. Творогова [и др.] // Холодильная техника. 2019. № 5. С. 36–39.
6. Татаренко Д. А. Каким должно быть правильное питание и как влияет на него Инсулиновый индекс и Гликемический индекс // Современные научные исследования и инновации. 2019. Т. 98. № 6.
7. Никберг И. И. О гликемическом и инсулиновом индексах пищевых продуктов // Новости медицины и фармации. 2011. Т. 371–372. № 11–12. С. 18–19.
8. Голыбин В. А., Ефремов А. А. Технология крахмала, крахмалопродуктов и глюкозно-фруктозных сиропов. Воронеж: Воронежский государственный университет инженерных технологий, 2013. 140 с.
9. Macdonald I. A. A review of recent evidence relating to sugars, insulin resistance and diabetes // European Journal of Nutrition. 2016. Vol. 55. P. 17–23. <https://doi.org/10.1007/s00394-016-1340-8>.
10. Сарафанова Л. А. Современные пищевые ингредиенты. Особенности применения. СПб.: Профессия, 2009. 205 с.
11. Ice cream: Uses and method of manufacture / S. S. Deosarkar [et al.] // Encyclopedia of food and health / editors V. Caballero, P. M. Finglas, F. Toldrá. Academic Press, 2016. P. 391–397. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00384-6>.
12. Honey and syrups: Healthy and natural sweeteners with functional properties / Á.-M. González-Montemayor [et al.] // Natural beverages. Volume 13: The science of beverages / editors A. M. Grumezescu, A. M. Holban. Academic Press, 2019. P. 143–177. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816689-5.00006-7>.
13. Старовойтова О. В., Мухаметзянова Е. Ю., Решетник О. А. Глюкозно-фруктозный сироп в производстве мучного кондитерского изделия // Вестник технологического университета. 2017. Т. 20. № 22. С. 131–134.

14. Effects of long-term consumption of high fructose corn syrup containing peach nectar on body weight gain in sprague dawley rats / G. Ozcan Sinir [et al.] // *Food Science and Technology*. 2017. Vol. 37. № 2. P. 337–343. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.25416>.

15. Гнездилова А. Н., Музыкантова А. В., Виноградова Ю. В. Молочный концентрированный сладкий продукт // *Молочнохозяйственный вестник*. 2017. Т. 25. № 1. С. 84–90.

16. Walker R. W., Dumke K. A., Goran M. I. Fructose content in popular beverages made with and without high-fructose corn syrup // *Nutrition*. 2014. Vol. 30. № 7–8. P. 928–935. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2014.04.003>.

17. White J. S. Challenging the fructose hypothesis: New perspectives on fructose consumption and metabolism // *Advances in Nutrition*. 2013. Vol. 4. № 2. P. 246–256. <https://doi.org/10.3945/an.112.003137>.

18. Navale A. Glucose transporters and their cellular form, role and function // *Molecular Nutrition: Carbohydrates* / editor V. B. Patel. Academic Press, 2019. P. 21–34. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-849886-6.00003-3>.

19. Serna-Saldivar S. O. Maize: Foods from maize // *Reference Module in Food Science*. 2016. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.00126-8>.

20. Яргин С. В. Глюкозно-фруктозный сироп: комментарий для российского читателя // *Главный врач Юга России*. 2017. Т. 57. № 4. С. 64–66.

21. Агзамова Л. И., Мингалева З. Ш. Изучение влияния глюкозно-фруктозного сиропа на потребительские свойства готового изделия // *Вестник технологического университета*. 2014. Т. 17. № 21. С. 229–231.

22. High fructose syrup production from mixed food and beverage waste hydrolysate at laboratory and pilot scales / T. H. Kwan [et al.] // *Food and Bioproducts Processing*. 2018. Vol. 111. P. 141–152. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.08.001>.

References

1. Tvorogova AA, Kazakova NV, Shobanova TV, Belozarov GA. Control of the process of structure formation of “premium” class ice cream using monostabilizers. *Refrigeration science and technology proceedings: Proceedings of the 25-th IIR International Congress of Refrigeration; 2019; Montreal*. Montreal: International Institute of Refrigeration; 2019. p. 2901–2907.

2. Shobanova TV, Tvorogova AA. Influence of fat phase on technologically important indicators of ice cream plombir without emulsifiers. *Food Systems*. 2018;1(2):4–11. (In Russ.). <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2018-1-2-4-11>.

3. Goff GD, Gartel RU. *Ice cream*. St. Petersburg: Professiya; 2016. 537 p. (In Russ.).

4. Milliatti MC, Lannes SCS. Impact of stabilizers on the rheological properties of ice creams. *Food Science and Technology*. 2018;38(4):733–739. <https://doi.org/10.1590/fst.31818>.

5. Tvorogova AA, Shobanova TV, Sitnikova PB, Babadzhanyan YaV. Issledovanie strukturiruyushchey sposobnosti zhira v morozhenom plombir bez ehmul'gatorov [Structuring ability of fat in Plombières ice-cream without emulsifiers]. *Kholodilnaya Tekhnika*. 2019;(5):36–39. (In Russ.).

6. Tatarenko DA. Kakim dolzhno byt' pravil'noe pitanie i kak vliyaet na nego Insulinovyy indeks i Glikemicheskiy indeks [Healthy diet and how the Insulin Index and the Glycemic Index affect it]. *Modern scientific researches and innovations*. 2019;98(6). (In Russ.).

7. Nikberg II. O glikemicheskom i insulinovom indeksakh pishchevykh produktov [About the glycemic and insulin indices of foods]. *News of Medicine and Pharmacy*. 2011;371–372(11–12):18–19. (In Russ.).

8. Golybin VA, Efremov AA. Tekhnologiya krakhmala, krakhmaloproduktov i glyukozno-fruktoznykh siropov [Technology of starch, starch products, and glucose-fructose syrups]. Voronezh: Voronezh State University of Engineering Technologies; 2013. 140 p. (In Russ.).

9. Macdonald IA. A review of recent evidence relating to sugars, insulin resistance and diabetes. *European Journal of Nutrition*. 2016. Vol. 55. P. 17–23. <https://doi.org/10.1007/s00394-016-1340-8>.

10. Sarafanova LA. Sovremennyye pishchevye ingrediety. Osobennosti primeneniya [Modern food ingredients. Application features]. St. Petersburg: Professiya; 2009. 205 p. (In Russ.).

11. Deosarkar SS, Khedkar CD, Kalyankar SD, Sarode AR. Ice cream: Uses and method of manufacture. In: Caballero B, Finglas PM, Toldrá F, editors. *Encyclopedia of food and health*. Academic Press; 2016. pp. 391–397. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00384-6>.

12. González-Montemayor Á-M, Flores-Gallegos AC, Serrato-Villegas LE, López-Pérez MG, Montañez-Sáenz JC, Rodríguez-Herrera R. Honey and syrups: Healthy and natural sweeteners with functional properties. In: Grumezescu AM, Holban AM, editors. *Natural beverages*. Volume 13: The science of beverages. Academic Press; 2019. pp. 143–177. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816689-5.00006-7>.

13. Starovoytova OV, Mukhametzhanova EYu, Reshetnik OA. Glyukozno-fruktoznyy sirop v proizvodstve muchnogo konditerskogo izdeliya [Glucose-fructose syrup in bakery]. *Bulletin of the Technological University*. 2017;20(22):131–134. (In Russ.).

14. Ozcan Sinir G, Suna S, Inan S, Bagdas D, Tamer CE, Copur OU, et al. Effects of long-term consumption of high fructose corn syrup containing peach nectar on body weight gain in sprague dawley rats. *Food Science and Technology*. 2017;37(2):337–343. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.25416>.
15. Gnezdilova AI, Muzykantova AV, Vinogradova YuV. Sweet concentrated milk product. *Molochnokhozayistvenny Vestnik*. 2017;25(1):84–90. (In Russ.).
16. Walker RW, Dumke KA, Goran MI. Fructose content in popular beverages made with and without high-fructose corn syrup. *Nutrition*. 2014;30(7–8):928–935. <https://doi.org/10.1016/j.nut.2014.04.003>.
17. White JS. Challenging the fructose hypothesis: New perspectives on fructose consumption and metabolism. *Advances in Nutrition*. 2013;4(2):246–256. <https://doi.org/10.3945/an.112.003137>.
18. Navale A. Glucose transporters and their cellular form, role and function. In: Patel VB, editor. *Molecular nutrition: Carbohydrates*. Academic Press; 2019. pp. 21–34. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-849886-6.00003-3>.
19. Serna-Saldivar SO. Maize: Foods from maize. *Reference Module in Food Science*. 2016. <https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.00126-8>.
20. Yargin SV. A glucose-fructose syrup: commentary for Russian readers. *Glavnyi Vrach Uga Russia*. 2017;57(4):64–66. (In Russ.).
21. Agzamova LI, Mingaleeva ZSh. Izuchenie vliyaniya glyukozno-fruktoznogo siropa na potrebitel'skie svoystva gotovogo izdeliya [Effect of glucose-fructose syrup on the consumer properties of the finished product]. *Bulletin of the Technological University*. 2014;17(21):229–231. (In Russ.).
22. Kwan TH, Ong KL, Haque MA, Tang WT, Kulkarni S, Lin CSK. High fructose syrup production from mixed food and beverage waste hydrolysate at laboratory and pilot scales. *Food and Bioproducts Processing*. 2018;111:141–152. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2018.08.001>.