

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2391>
<https://elibrary.ru/QHRWYP>

Обзорная статья
<https://fptt.ru>

Трегалоза и изомальтулоза в технологии сладких молочных консервов



Е. И. Большакова

Всероссийский научно-исследовательский институт молочной промышленности , Москва, Россия

Поступила в редакцию: 27.05.2022
Принята после рецензирования: 16.06.2022
Принята к публикации: 05.07.2022

Е. И. Большакова: e_bolshakova@vnimi.org,
<https://orcid.org/0000-0002-8427-0387>

© Е. И. Большакова, 2022



Аннотация.

Сахароза – компонент многих продуктов питания, но ее чрезмерное потребление способно негативно влиять на организм человека. В консервированной продукции сахароза, обеспечивая сладость и определенную долю сухих веществ, является осмотически деятельным агентом. Подсластители и сахарозаменители, применяемые в пищевой промышленности, не всегда выполняют роль осмотически деятельных веществ. Цель данного обзора – анализ свойств трегалозы и изомальтулозы в аспекте их использования в производстве сладких концентрированных молочных продуктов с промежуточной влажностью.

Объектом исследования являлась российская и зарубежная научная литература, проиндексированная в базах данных РИНЦ, Scopus и Web of Science с 2007 по 2022 гг. Из списка поисковых дескрипторов, включающего 12 слов и словосочетаний, основными в ходе работы были: «сгущенное молоко с сахаром», «активность воды», «сахароза», «трегалоза», «изомальтулоза».

В обзоре рассмотрели значимые свойства сахарозы в сгущенном молоке с сахаром и физико-химические особенности молочной системы. Были сформированы критерии оценки оптимальности альтернативных сахаристых веществ для замены сахарозы: молекулярная масса, сладость по отношению к сахарозе, поведение сахаристых веществ в реакции Майяра, их растворимость, вязкость и способность к кристаллизации. С учетом этих критериев изучили свойства трегалозы и изомальтулозы. Была отмечена положительная тенденция влияния данных веществ на анализируемые свойства.

В результате был предложен список критериев оценки оптимальности использования подсластителей и сахарозаменителей в производстве сладких концентрированных молочных продуктов с промежуточной влажностью в качестве регуляторов технологических свойств и компонентов рецептур продуктов с профилактическим действием. Проанализированные углеводы (трегалоза и изомальтулоза) могут быть рассмотрены в качестве альтернативы сахарозе. Отсутствие сопоставимых экспериментально подтвержденных данных о ряде свойств данных углеводов в системе сладких концентрированных молочных продуктов с промежуточной влажностью обуславливает проведение дальнейших исследований.

Ключевые слова. Сгущенное молоко с сахаром, сахароза, кариесогенность, сахарозаменители, трегалоза, изомальтулоза, дисахариды

Для цитирования: Большакова Е. И. Трегалоза и изомальтулоза в технологии сладких молочных консервов // Техника и технология пищевых производств. 2022. Т. 52. № 4. С. 623–630. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2391>

Trehalose and Isomaltulose in the Technology of Sweetened Condensed Milk



Ekaterina I. Bolshakova

All-Russian Dairy Research Institute , Moscow, Russia

Received: 27.05.2022
Revised: 16.06.2022
Accepted: 05.07.2022

Ekaterina I. Bolshakova: e_bolshakova@vniimi.org,
<https://orcid.org/0000-0002-8427-0387>

© E.I. Bolshakova, 2022



Abstract.

Sucrose is an important component in many foods. However, it can be dangerous for consumers' health, if overconsumed. For instance, it may cause tooth decay. As a rule, sucrose provides sweetness and a certain dry matter content. Alternative sweeteners and bulking agents can also perform these two functions. Unfortunately, they almost always fail to serve as an osmotically active agent in canned products. The research objective was to study the properties of trehalose and isomaltulose as sugar substitutes in sweetened condensed milk.

The study covered fifteen years of domestic and foreign research reported in the open databases of the Russian Scientific Citation Index, Scopus, and Web of Science. The list of search descriptors included twelve words and word combinations, e.g., *sweetened condensed milk*, *water activity*, *sucrose*, *trehalose*, *isomaltulose*, etc.

The review focused primarily on the important properties of sucrose in the sweetened condensed milk and the physico-chemical features of the milk system. The analysis provided a system of criteria to evaluate the optimality of alternative substances for sweet concentrated milk production. These criteria were applied to trehalose and isomaltulose.

The article introduces a list of criteria that can be used to evaluate sweeteners and sugar substitutes as regulators of certain technological properties in the production of sweetened concentrated milk products with intermediate moisture content. According to these criteria, trehalose and isomaltulose can serve as alternative sweeteners in condensed milk. However, the review revealed some gaps in experimental data on a number of properties of considered carbohydrates in sweetened concentrated milk products, which imposes further research.

Keywords. Sweetened condensed milk, sucrose, cariogenicity, sweeteners, trehalose, isomaltulose, disaccharides

For citation: Bolshakova EI. Trehalose and Isomaltulose in the Technology of Sweetened Condensed Milk. Food Processing: Techniques and Technology. 2022;52(4):623–630. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2022-4-2391>

Введение

Сахароза – один из самых распространенных углеводов, входящих в состав продуктов питания. По данным органов здравоохранения, потребление сахара составляет 82 г на человека в сутки при рекомендуемой Роспотребнадзором норме в 50 г [1]. В 2010 г. учеными Московского государственного медико-стоматологического университета была отмечена зависимость поражения кариесом зубов от суточного потребления сахара: увеличение средней суммы кариозных, пломбированных и удаленных зубов в два раза при соответствующем превышении рекомендуемой нормы потребления сахара [2].

Ряд молочных продуктов (творог, йогурт и др.) может способствовать сохранению минералов зубной эмали. Однако при добавлении сахара в эти продукты такой эффект нивелируется [3, 4].

Сгущенное молоко с сахаром – традиционный молочный продукт, включающий все составные части молока в концентрированном виде, а также высокое содержание калия, фосфора и кальция. Именно эти элементы теряет зубная эмаль в процессе деминерализации при развитии кариеса. Скорректировав вводимую в рецептуру углеводную часть, которая в традиционном исполнении представлена легкоферментируемой сахарозой, являющейся кариесогенной, можно получить профилактический продукт, в котором будут сохранены все его преимущества.

Использование сахарозаменителей в пищевом производстве – популярный метод снижения энергетической ценности, гликемического индекса и кариесогенного действия продуктов, но они не выполняют роль осмотически деятельных веществ. В связи с этим целью данного обзора являлось изучение

свойств трегалозы и изомальтулозы в аспекте их использования в производстве концентрированных продуктов с промежуточной влажностью, в том числе сгущенного молока с сахаром. В обзор были включены вещества, которые обладают кариесостатическими свойствами.

Свой вклад в предотвращение развития кариеса вносят не только интенсивные подсластители [5]. В работе R. A. Clemens и др. отмечается, что меньшей кариесогенностью, по сравнению с сахарозой, обладает трегалоза, а P. D. Sawale и др. и K. R. Goldfein и J. L. Slavin подчеркивают эффективность замены сахарозы на изомальтулозу в профилактике кариеса [6–8].

Объекты и методы исследования

Научная литература для анализа была взята из баз данных РИНЦ, Scopus и Web of Science. Поиск осуществлялся на русском и английском языках с использованием следующих дескрипторов: молочная система (milk system), сгущенное молоко с сахаром (sweetened condensed milk), активность воды (water activity), кристаллизация (crystallization), сахароза (sucrose), кариес (tooth decay), сахарозаменители (sweeteners), трегалоза (trehalose), изомальтулоза (isomaltulose), вязкость (viscosity), реакция Майяра (Maillard reaction) и растворимость (solubility). Глубина анализа научной литературы составила 15 лет.

Результаты и их обсуждение

Критерии оптимальности свойств альтернативных веществ. Поиск веществ для альтернативной замены сахарозы в сгущенном молоке с сахаром и оценка оптимальности свойств ингредиентов осуществлялись на основе критериев, сформированных исходя из свойств сахарозы. Данные критерии удовлетворяют получению качественного готового продукта, физико-химическим особенностям сырья, внутренним взаимодействиям в молочной системе и данным о влиянии обозреваемых веществ на зубную эмаль.

Значимые свойства сахарозы в системе сгущенного молока с сахаром. Сахароза в традиционной рецептуре сгущенного молока с сахаром отвечает за консервирующий эффект посредством обеспечения осмотического давления в 16–18 МПа, при котором исключается развитие микроорганизмов. Такой эффект в сгущенном молоке с сахаром обеспечивается при концентрации сахарозы на уровне 62,5–63,5 %. Недостаточная концентрация сахарозы может вызвать порок нечистого и неопределенного вкуса по причине развития осмофильных микроорганизмов, действующих на белковую составляющую продукта [9].

На осмотический потенциал среды, помимо концентрации вносимых консервирующих веществ,

влияет молекулярная масса, которая у сахарозы составляет 342 г/моль. Подробный анализ и систематизация альтернативных сахарозе осмотически деятельных веществ описаны в работе М. Н. Стрижко и А. Г. Галстяна [10]. Например, декстроза (которая также вызывает кариес), по сравнению с сахарозой, имеет большую теоретическую консервирующую способность, т. к. при концентрации раствора 15,25 % она обеспечивает осмотический потенциал, идентичный раствору сахарозы с концентрацией 24,93 %. Молекулярная масса декстрозы ниже и составляет 180 г/моль. В связи с этим одним из критериев оценки оптимальности обозреваемых веществ была обозначена молекулярная масса.

Помимо основной функции в виде консервирующего действия, сахароза отвечает за сладость готового продукта, поэтому сладость по отношению к сахарозе также учитывалась при изучении свойств рассматриваемых углеводов.

Низкая растворимость вещества может сказаться на органолептических характеристиках готового продукта, т. к. нерастворившиеся кристаллы способны вызывать пороки консистенции. В связи с этим растворимость была включена в список критериев оценки.

Физико-химические особенности молочной системы. Активность воды – основной показатель оценки консервирования [11, 12]. W. J. Scott в 1953 г. доказал, что оптимальные условия устойчивости пищевых продуктов к химическим и микробиологическим процессам должны определяться на основе значения показателя активности воды, характеризующей ее доступность для микроорганизмов. Сахароза в традиционной рецептуре сгущенного молока с сахаром выполняет функцию осмодетального агента. Связывая воду, она делает ее недоступной для микроорганизмов, что обуславливает взаимосвязь активности воды (A_w) и происходящих в молочных консервах микробиологических и физико-химических процессов [9]. С точки зрения оценки этого показателя качественным можно считать то сгущенное цельное молоко с сахаром, значение активности воды которого составляет 0,85–0,83 [12, 13].

Реакция Майяра в молочной системе – это термически-индуцированный процесс, заключающийся во взаимодействии NH_2 -групп молочных белков с карбонильными группами восстанавливающих сахаров [14, 15]. Основные продукты реакции – меланоидиновые соединения, которые могут вызывать появление привкуса карамелизации и изменение цвета (побурение) в продукте [14, 16].

В производстве сгущенного молока с сахаром предусмотрено проведение различных технологических операций, сопровождающихся тепловыми воздействиями, а именно нагрев молока при 45 °С, внесение сахарного сиропа при 80 °С, пастеризация

смеси и выдержка при 100 °С в течение 10 мин. Однако уже при 37 °С в системе молочных белков и восстанавливающих сахаров протекает начальная стадия реакции Майяра и образуются основания Шиффа и бесцветные гликозиламины [17, 18]. Их перегруппировка в соединения Армадори или Хейна происходит в промежуточной стадии при одновременном образовании бесцветных или чуть желтоватых соединений (5-гидроксиметилфурфурол, редутоны и др.). Некоторыми авторами отмечается, что 60 °С – характерная температура для промежуточной стадии [17, 18]. На финальном этапе активно образуются меланоидины и появляется характерное окрашивание молочной среды в кремовый цвет. Насыщенность цвета зависит от технологических режимов, pH, активности воды и свойств сахаров, находящихся в системе.

Характерный цвет цельного сгущенного молока с сахаром – белый с кремовым оттенком. Изменение нативного цвета является нежелательным эффектом, т. к. приводит к отбраковке продукта [9].

Вязкость. В сгущенном молоке с сахаром нормируется вязкость в диапазоне 3–15 МПа, но в процессе хранения она увеличивается [19]. Существует обратнопропорциональная зависимость скорости диффузии лактозы к зародышевым центрам (процесса кристаллизации) от вязкости продукта. Поэтому важно контролировать показатель вязкости, который влияет на формирование органолептических свойств и качества продукта в целом [20, 21].

Загустевание сгущенного молока с сахаром является пороком консистенции, поэтому нежелательно [22]. Потере текучести способствует как несоблюдение режимов производства и хранения, так и увеличенное содержание сухих обезжиренных веществ и инвертного сахара [19]. Важно подбирать такие вещества в композицию, которые в оптимальных концентрациях будут обеспечивать требуемую массовую долю влаги.

Кристаллизация лактозы – один из важных процессов в производстве сгущенного молока с сахаром, который позволяет получить продукт с заданными свойствами [21, 23]. При хранении этот процесс в контексте лактозы или вносимой углеводной части может быть обусловлен нарушениями технологических режимов или оптимальной концентрацией консервирующего вещества. Поэтому кристаллизация нежелательна и может вызывать пороки консистенции: мучнистость, песчанность и даже образование видимых кристаллов. Помимо лактозы, содержащейся в молочной системе, в сгущенном молоке с сахаром способностью кристаллизоваться обладает и сахароза. В связи с этим нарушение режимов технологического процесса и условий хранения может неблагоприятно повлиять на вносимую углеводную составляющую, что скажется на качестве готового продукта. Скорость

образования зародышевых центров сахарозы зависит от силы поверхностного натяжения, которое находится под влиянием многих факторов, в том числе химического потенциала и числа молей компонентов [24].

Поведение сахаристых веществ в реакции Майяра, их растворимость, вязкость и способность к кристаллизации напрямую влияют на формирование качества сгущенного молока с сахаром. В связи с этим рассмотренные свойства легли в основу критериев оценки оптимальности сладких веществ в аспекте замены сахарозы (рис. 1).

Обзор свойств сахарозных альтернатив. Трегалоза. Трегалоза (α -D-глюкопиранозил; α -D-глюкопиранозид) – подсластитель, который обладает коэффициентом сладости 0,5–0,7 по отношению к сахарозе. Он способен усиливать вкус, уменьшать запах и продлевать сроки хранения [25].

По химической структуре трегалоза представляет собой дисахарид, состоящий из двух глюкозных остатков, соединенных 1,1-гликозидной связью, с молекулярной массой 342,3 г/моль, как у сахарозы [25, 26]. Строение обуславливает свойства трегалозы – она является невосстанавливающим сахаром и обладает высокой стабильностью [25, 26]. Особенности строения трегалозы, а именно отсутствие у нее свободной альдегидной группы и наличие высокоустойчивой гликозидной связи, соединяющей два α -D-глюкопиранозных остатка, позволяют не вступать ей в химические реакции с аминокислотами и белками [27–29].

В технологическом аспекте трегалоза может быть интересна по причине проявления у нее способности к увеличению стабильности бета-казеина и бета-лактоглобулина благодаря механизму специфических связей, который влияет на формирование реологических характеристик [30–33]. Значение вязкости 0,5 М раствора трегалозы превышает значение вязкости 0,5 М раствора сахарозы на 30 % при 25 °С [26].

Румынские исследователи отмечают, что при добавлении в мед 0,07–0,08 ммоль трегалозы на 100 г

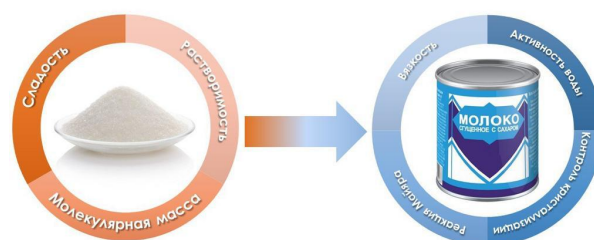


Рисунок 1. Дизайн критериального отбора сладких веществ в аспекте замены сахарозы

Figure 1. Criterial design for sucrose replacements

Таблица 1. Сравнение основных свойств и характеристик сахарозы, трегалозы и изомальтулозы

Table 1. The main properties of sucrose, trehalose, and isomaltulose

Характеристики и свойства	Углевод		
	Сахароза	Трегалоза	Изомальтулоза
Молекулярная масса, г/моль	342,3 [48]	342,3 [49]	342,3 [38]
Коэффициент сладости	1,0 [25]	0,5–0,7 [25]	0,3–0,4 [7]
Растворимость, г/100 г воды при 20 °С	200,0 [26]	40,6–69,0 [26]	0,5 [39]
Реакция Майяра	Вступает в реакцию [50]	Не вступает в реакцию [25]	Вступает в реакцию [39]

предотвращается его кристаллизация, но химический состав, цвет и текстура не изменяются [34]. В работе А. А. Thorat и др. отмечается, что добавление 1 % трегалозы в лиофилизаты углеводных смесей способно изменить ход кристаллизации сахарозы [35].

Трегалоза – космотропное вещество, которое обладает более высокой способностью к Н-связыванию, чем сахароза. В связи с этим в системе с трегалозой снижается подвижность воды, которая находится в прямой зависимости от скорости образования кристаллов и значения активности воды [36, 37].

Изомальтулоза. Изомальтулоза (6-О- α -D-глюкопиранозил-D-фруктофураноза) – подсластитель с низким гликемическим индексом, высокой стабильностью к изменению реакции среды и антикариесогенным действием. По химическому строению подсластитель представляет собой дисахарид, состоящий из остатков глюкозы и фруктозы, соединенных α -(1-6) связью с молекулярной массой 342,3 г/моль [7, 36].

Изомальтулоза активно участвует в реакции Майяра из-за наличия свободной редуцирующей группы, что отмечается в работах [36, 39–41].

Согласно уравнению регрессии A_w для раствора изомальтулозы, которое представлено в работе М. Н. Стрижко, данный дисахарид обладает высоким потенциалом к связыванию влаги [42]. Подобный эффект отмечается и другими исследователями [35, 43].

Изомальтулоза имеет ограничения в растворимости – 30 % [44]. В работе I. Reipado и др. отмечается низкая растворимость дисахаридов и подчеркивается необходимость включения в углеводную композицию с ним сахарозы или фруктозы [45]. Результаты исследования S. Song и др. показывают, что растворимость изомальтулозы находится в прямой зависимости от температуры [46].

На ингибирование процесса кристаллизации влияет снижение молекулярной подвижности среды, которое может быть обеспечено вязкостными свойствами вещества, входящего в пищевую систему. Значения вязкости растворов лиофилизатов с добавлением изомальтулозы и целлобиозы были

выше по сравнению с растворами фруктозы, сахарозы, лактозы, мальтозы или трегалозы [35].

V. W. K. Tan и др. отмечают близость вкусовых характеристик изомальтулозы и сахарозы, а коэффициент сладости изомальтулозы по отношению к сахарозе составляет 0,3–0,4 [7, 47].

Сравнительная характеристика свойств сахарозы, трегалозы и изомальтулозы представлена в таблице 1.

В статьях различных авторов приводятся данные о кристаллизации, вязкости и активности воды пищевых сред с изомальтулозой и трегалозой [34, 43, 51–53]. Однако было признано нецелесообразным сравнивать эти данные, т. к. сладкие концентрированные молочные продукты с промежуточной влажностью имеют особые физико-химические свойства [9, 54, 55].

Выводы

Значение молекулярной массы, которое влияет на осмотический потенциал среды, а впоследствии и на консервирующий эффект, у рассматриваемых углеводов с сахарозой совпадает. Однако их сладость может быть ниже сладости сахарозы на 30–70 %, а растворимость углеводов при 20 °С сильно отличаться и уменьшаться в ряду сахароза – трегалоза – изомальтулоза. Таким образом, представляет интерес использование этих сахаров в комбинации с подсластителями, улучшающими вкусовые характеристики (при необходимости). В реакцию Майяра, аналогично сахарозе, вступает изомальтулоза, в то время как строение трегалозы исключает такого рода взаимодействие. Данный эффект можно рассматривать с положительной точки зрения в производстве классического сгущенного молока с сахаром при использовании трегалозы, а также в производстве вареного при использовании изомальтулозы.

В процессе изучения литературных источников не обнаружено коррелирующих между собой данных о взаимодействиях и характере поведения компонентов в концентрированной молочной системе при добавлении изомальтулозы и трегалозы. Также не найдено экспериментально подтвержденных данных о вязкости, активности воды и кристаллизации рассматриваемых веществ, которые можно было бы сопоставить или сравнить. Отмечена положительная

тенденция влияния представленных в обзоре веществ на анализируемые свойства. Это обуславливает их рассмотрение в качестве потенциальных альтернатив сахарозе в аспекте использования при производстве сладких молочных консервов. Вышеизложенное является основанием для проведения дальнейших исследований.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

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

References/Список литературы

1. Federal Service for Supervision of Consumer Protection and Rights and Human Welfare [Internet]. [cited 2022 Mar 14]. Available from: <https://www.rospotrebnadzor.ru> [Федеральная служба по надзору в сфере защиты и прав потребителей и благополучия человека. URL: <https://www.rospotrebnadzor.ru> (дата обращения: 14.03.2022).].
2. Leontyev VK. Dental caries as a civilization disease. *Biosfera*. 2010;2(3):392–396. (In Russ.). [Леонтьев В. К. Кариес зубов-болезнь цивилизации // Биосфера. 2010. Т. 2. № 3. С. 392–396.].
3. Lodi CS, de Oliveira LV, Brighenti FL, Delbem ACB, Martinhon CCR. Effects of probiotic fermented milk on biofilms, oral microbiota, and enamel. *Brazilian Oral Research*. 2015;29(1). <https://doi.org/10.1590/1807-3107BOR-2015.vol29.0033>
4. Farias da Cruz M, Baraúna Magno M, Alves Jural L, Pimentel TC, Masterson Tavares Pereira Ferreira D, Almeida Esmerino E, *et al*. Probiotics and dairy products in dentistry: A bibliometric and critical review of randomized clinical trials. *Food Research International*. 2022;157. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111228>
5. Kakleas K, Christodouli F, Karavanaki K. Nonalcoholic fatty liver disease, insulin resistance, and sweeteners: a literature review. *Expert Review of Endocrinology and Metabolism*. 2020;15(2):83–93. <https://doi.org/10.1080/17446651.2020.1740588>
6. Clemens RA, Jones JM, Kern M, Lee S-Y, Mayhew EJ, Slavin JL, *et al*. Functionality of sugars in foods and health. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2016;15(3):433–470. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12194>
7. Sawale PD, Shendurse AM, Mohan MS, Patil GR. Isomaltulose (Palatinose) – An emerging carbohydrate. *Food Bioscience*. 2017;18:46–52. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.04.003>
8. Goldfein KR, Slavin JL. Why sugar is added to food: Food science 101. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2015;14(5):644–656. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12151>
9. Galstyan AG, Petrov AN, Radaeva IA, Turovskaya SN, Chervetsov VV, Illarionova EE, *et al*. Theory and practice of dairy canning. Moscow: Izdatel'skiy dom "Fedotov D.A."; 2016. 181 p. (In Russ.). [Теория и практика молочно-консервного производства / А. Г. Галстян [и др.]. М.: Издательский дом «Федотов Д. А.»; 2016. 181 с.].
10. Strizhko MN, Galstyan AG. Analysis and systematization of alternative of sucrose osmotically active substances. *Newsletter of North-Caucasus Federal University*. 2013;35(2):97–101. (In Russ.). [Стрижко М. Н., Галстян А. Г. Анализ и систематизация альтернативных сахарозе осмотически деятельных веществ // Вестник Северо-Кавказского федерального университета. 2013. Т. 35. № 2. С. 97–101.].
11. Tapia MS, Alzamora SM, Chirife J. Effects of water activity (a_w) on microbial stability as a hurdle in food preservation. In: Barbosa-Cánovas GV, Fontana Jr. AJ, Schmidt SJ, Labuza TP, editors. *Water activity in foods: Fundamentals and applications*. John Wiley & Sons; 2020. pp. 323–355. <https://doi.org/10.1002/9781118765982.CH14>
12. Illarionova EE, Radaeva IA, Turovskaya SN, Guseva TB. Water activity in the products with intermediate moisture. *Dairy Industry*. 2017;(10):15–16. (In Russ.). [Активность воды в продуктах с промежуточной влажностью / Е. Е. Илларионова [и др.] // Молочная промышленность. 2017. № 10. С. 15–16.].
13. Galstyan AG. Scientific foundations and practical solutions for improving technologies and expanding the range of canned milk. Abstract dr. eng. sci. diss. Moscow: V.M. Gorbатов All-Russian Research Institute of the Meat Industry; 2009. 50 p. (In Russ.). [Галстян А. Г. Развитие научных основ и практические решения совершенствования технологий, повышения качества и расширения ассортимента молочных консервов: автореф. дис. ... д-ра техн. наук: 05.18.04. М., 2009. 50 с.].
14. Gómez-Narváez F, Contreras-Calderón J, Pérez-Martínez L. Usefulness of some Maillard reaction indicators for monitoring the heat damage of whey powder under conditions applicable to spray drying. *International Dairy Journal*. 2019;99. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.104553>
15. Arena S, Renzone G, D'Ambrosio C, Salzano AM, Scaloni A. Dairy products and the Maillard reaction: A promising future for extensive food characterization by integrated proteomics studies. *Food Chemistry*. 2017;219:477–489. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.09.165>
16. Aljahdali N, Carbonero F. Impact of Maillard reaction products on nutrition and health: Current knowledge and need to understand their fate in the human digestive system. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2019;59(3):474–487. <https://doi.org/10.1080/10408398.2017.1378865>

17. Cortés Yáñez DA, Gagneten M, Leiva GE, Malec LS. Antioxidant activity developed at the different stages of Maillard reaction with milk proteins. *LWT*. 2018;89:344–349. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.11.002>
18. Wu J, Li H, A'yun Q, Sedaghat Doost A, De Meulenaer B, Van der Meeren P. Conjugation of milk proteins and reducing sugars and its potential application in the improvement of the heat stability of (recombined) evaporated milk. *Trends in Food Science and Technology*. 2021;108:287–296. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.01.019>
19. Petrov AN, Galstyan AG, Radaeva IA, Turovskaya SN, Illarionov EE, Semipyatniy VK, *et al.* Indicators of quality of canned milk: Russian and international priorities. *Foods and Raw Materials*. 2017;5(2):151–161. <https://doi.org/10.21603/2308-4057-2017-2-151-161>
20. Illarionova EE, Turovskaya SN, Radaeva IA. To the question of increasing of canned milk storage life. *Relevant Issues of the Dairy Industry, Cross-Industry Technologies, and Quality Management Systems*. 2020;1(1):225–230. (In Russ.). <https://doi.org/10.37442/978-5-6043854-1-8-2020-1-225-230>
21. Rjabova AE, Kirsanov VV, Strizhko MN, Bredikhin AS, Semipyatnyi VK, Chervetsov VV, *et al.* Lactose crystallization: Current issues and promising engineering solutions. *Foods and Raw Materials*. 2013;1(1):66–73. <https://doi.org/10.12737/1559>
22. Radaeva IA, Turovskaya SN, Illarionova EE, Kulikovskaya TS. Structural changes of concentrated milk with sugar in the course of long storage. *Dairy Industry*. 2017;(9):60–72. (In Russ.). [Структурные изменения сгущенного молока с сахаром в процессе длительного хранения / И. А. Радаева [и др.] // Молочная промышленность. 2017. № 9. С. 60–62.]
23. Rjabova AE, Galstjan AG, Malova TI, Radaeva IA, Turovskaya SN. Heterogeneous crystallization of lactose in technology of sweetened condensed milk. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2014;32(1):78–83. (In Russ.). [К вопросу о гетерогенной кристаллизации лактозы в технологиях сгущенных молочных продуктов с сахаром / А. Е. Рябова [и др.] // Техника и технология пищевых производств. 2014. Т. 32. № 1. С. 78–83.]
24. Petrov SM, Arapov DV, Kuritsyn VA. Physical and chemical properties of aqueous sucrose solutions: Equations for digital calculations. *Sugar*. 2014;(4):44–53. (In Russ.). [Петров С. М., Арапов Д. В., Курицын В. А. Уравнения для расчета на ЭВМ физико-химических свойств водных растворов сахарозы // Сахар. 2014. № 4. С. 44–53.]
25. Mahato DK, Keast R, Liem DG, Russell CG, Cicerale S, Gamlath S. Sugar reduction in dairy food: an overview with flavoured milk as an example. *Foods*. 2020;9(10). <https://doi.org/10.3390/foods9101400>
26. Ohtake S, Wang YJ. Trehalose: Current use and future applications. *Journal of Pharmaceutical Sciences*. 2011;100(6):2020–2053. <https://doi.org/10.1002/jps.22458>
27. Feofilova EP, Usov AI, Mysyakina IS, Kochkina GA. Trehalose: chemical structure, biological functions, and practical application. *Microbiology*. 2014;83(3):271–283. (In Russ.). <https://doi.org/10.7868/S0026365614020074>
28. Cai X, Seidl I, Mu W, Zhang T, Stressler T, Fischer L, *et al.* Biotechnical production of trehalose through the trehalose synthase pathway: Current status and future prospects. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2018;102(7):2965–2976. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-8814-y>
29. Leiva GE, Naranjo GB, Malec LS. A study of different indicators of Maillard reaction with whey proteins and different carbohydrates under adverse storage conditions. *Food Chemistry*. 2017;215:410–416. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.08.003>
30. Rehan F, Ahemad N, Gupta M. Casein nanomicelle as an emerging biomaterial – A comprehensive review. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*. 2019;179:280–292. <https://doi.org/10.1016/j.colsurfb.2019.03.051>
31. Barbiroli A, Marengo M, Fessas D, Ragg E, Renzetti S, Bonomi F, *et al.* Stabilization of beta-lactoglobulin by polyols and sugars against temperature-induced denaturation involves diverse and specific structural regions of the protein. *Food Chemistry*. 2017;234:155–162. <https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2017.04.132>
32. He F, Woods CE, Litowski JR, Roschen LA, Gadgil HS, Razinkov VI, *et al.* Effect of sugar molecules on the viscosity of high concentration monoclonal antibody solutions. *Pharmaceutical Research*. 2011;28(7):1552–1560. <https://doi.org/10.1007/s11095-011-0388-7>
33. Jain NK, Roy I. Effect of trehalose on protein structure. *Protein Science*. 2009;18(1):24–36. <https://doi.org/10.1002/pro.3>
34. Amariei S, Norocel L, Scripcă LA. An innovative method for preventing honey crystallization. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 2020;66. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2020.102481>
35. Thorat AA, Forny L, Meunier V, Taylor LS, Mauer LJ. Effects of mono-, di-, and tri-saccharides on the stability and crystallization of amorphous sucrose. *Journal of Food Science*. 2018;83(11):2827–2839. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14357>
36. Singh SK. Sucrose and trehalose in therapeutic protein formulations. In: Warne NW, Mahler H-C, editors. *Challenges in protein product development*. Cham: Springer; 2018. pp. 63–95. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90603-4_3
37. Russ N, Zielbauer BI, Vilgis TA. Impact of sucrose and trehalose on different agarose-hydrocolloid systems. *Food Hydrocolloids*. 2014;41:44–52. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.03.020>
38. Palatinose [Internet]. [cited 2022 May 17]. Available from: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Palatinose>

39. Podgornova NM, Petrov SM, Petryanina TA. Isomaltulose, an innovative low-glycemic carbohydrate sweetener. Storage and Processing of Farm Products. 2017;(11):14–20. (In Russ.). [Подгорнова Н. М., Петров С. М., Петрянина Т. А. Изомальтулоза – инновационный низкогликемический углеводный подсластитель // Хранение и переработка сельхозсырья. 2017. № 11. С. 14–20.].
40. Lee EJ, Moon Y, Kweon M. Processing suitability of healthful carbohydrates for potential sucrose replacement to produce muffins with staling retardation. LWT. 2020;131. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109565>
41. Di Monaco R, Miele NA, Cabisidan EK, Cavella S. Strategies to reduce sugars in food. Current Opinion in Food Science. 2018;19:92–97. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.03.008>
42. Strizhko MN. Prospects for alternative types of osmotically active substances in the dairy industry. Scientific contribution of young scientists to the development of the food and processing industry of the agro-industrial complex: Proceedings of the VII conference of young scientists and specialists from research institutes of the Department of storage and processing of agricultural products of the Russian Agricultural Academy; 2013; Moscow. Moscow: VNIMI; 2013. p. 418–421. (In Russ.). [Стрижко М. Н. Перспективы применения альтернативных видов осмотически деятельных веществ в молочно-консервной промышленности // Научный вклад молодых ученых в развитие пищевой и перерабатывающей промышленности АПК: Сборник научных трудов VII конференции молодых ученых и специалистов научно исследовательских институтов Отделения хранения и переработки сельскохозяйственной продукции Россельхозакадемии. М., 2013. С. 418–421.].
43. Periche A, Heredia A, Escriche I, Andrés A, Castelló ML. Optical, mechanical and sensory properties of based-isomaltulose gummy confections. Food Bioscience. 2014;7:37–44. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2014.05.006>
44. Castelló ML, Echevarriás A, Rubio-Arreaez S, Ortolá MD. How isomaltulose and oligofructose affect physicochemical and sensory properties of muffins? Journal of Texture Studies. 2021;52(3):410–419. <https://doi.org/10.1111/jtxs.12602>
45. Peinado I, Rosa E, Heredia A, Andrés A. Use of isomaltulose to formulate healthy spreadable strawberry products. Application of response surface methodology. Food Bioscience. 2015;9:47–59. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2014.08.002>
46. Song S, Guo J, Qiu J, Liu J, An M, Yi D, *et al.* Solid-liquid equilibrium of isomaltulose in five pure solvents and four binary solvents from (283.15 to 323.15) K. Journal of Chemical and Engineering Data. 2019;64(3):963–971. <https://doi.org/10.1021/acs.jced.8b00823>
47. Tan VWK, Wee MSM, Tomic O, Forde CG. Rate-All-That-Apply (RATA) comparison of taste profiles for different sweeteners in black tea, chocolate milk, and natural yogurt. Journal of Food Science. 2020;85(2):486–492. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15007>
48. Sucrose [Internet]. [cited 2022 May 17]. Available from: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Sucrose>
49. Trehalose [Internet]. [cited 2022 May 17]. Available from: <https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/Trehalose>
50. Bednyh BS, Gapparov MM-G, Nikolskaya GV, Sokolov AI, Ramanauskas IR, Kiselev AYU. Glycolising of proteins in the baby foods. Dairy Industry. 2014;(12):68–69. (In Russ.). [Гликозилирование белков в продуктах детского питания / Б. С. Бедных [и др.] // Молочная промышленность. 2014. № 12. С. 68–69.].
51. Moriano ME, Alamprese C. Honey, trehalose and erythritol as sucrose-alternative sweeteners for artisanal ice cream. A pilot study. LWT. 2017;75:329–334. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.08.057>
52. Borges VC, Salas-Mellado MM. Influence of α -amilase, trehalose, sorbitol, and polysorbate 80 on the quality of gluten-free bread. International Food Research Journal. 2016;23(5):1973–1979.
53. Guggisberg D, Piccinali P, Schreier K. Effects of sugar substitution with Stevia, Actilight™ and Stevia combinations or Palatinose™ on rheological and sensory characteristics of low-fat and whole milk set yoghurt. International Dairy Journal. 2011;21(9):636–644. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2011.03.010>
54. Galstyan AG, Radaeva IA, Turovskaya SN, Korchagina SA, Chervetsov VV, Illarionova EE, *et al.* Brief reference of a specialist in dairy and canning production. Moscow: Ritm; 2011. 152 p. (In Russ.). [Краткий справочник специалиста молочно-консервного производства / А. Г. Галстян [и др.]. М.: Ритм, 2011. 152 с.].
55. González-Cruz AS, Sosa-Morales ME, Vélez-Ruiz JF. Effect of sucrose substitution by low-calorie sweeteners on the characteristics of condensed milk. American Society of Agricultural and Biological Engineers Annual International Meeting 2010. Vol. 7. 2010. pp. 5910–5916.