

DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-145-156>



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

Поступила 16.05.2022

Поступила после рецензирования 01.06.2022

Принята в печать 07.06.2022

© Кузьмина Е. И., Егорова О. С., Акбулатова Д. Р., Свиридов Д. А., Ганин М. Ю., Шилкин А. А., 2022

Обзорная статья

Open access

НОВЫЕ ВИДЫ САХАРОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПИЩЕВОЙ ПРОДУКЦИИ

Кузьмина Е. И., Егорова О. С.*, Акбулатова Д. Р.,
Свиридов Д. А., Ганин М. Ю., Шилкин А. А.

Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной,
безалкогольной и винодельческой промышленности, Москва, Россия

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

заменители сахара,
коэффициент сладости,
калорийные сахарозаменители,
сахаросодержащее сырье,
сахароза, крахмальные патоки,
глюкозо-фруктозные сиропы,
сиропы из топинамбура
и цикория, сироп агавы,
сироп из якона, сироп сорго,
рисовый сироп

АННОТАЦИЯ

Общемировая концепция осознанного потребления и здорового образа жизни оказывает влияние на развитие пищевой индустрии. Как следствие, в последние несколько десятилетий увеличивается выпуск заменителей сахара, ведется поиск и создаются новые подслащивающие вещества. В настоящей статье представлен обзор отечественных и зарубежных работ, посвященных применению сахарозаменителей в различных отраслях пищевой промышленности. Приведены сведения о новых видах заменителей сахара из природного крахмалсодержащего сырья и их свойствах. Описана возможность замены кристаллического сахара на сахарозаменители в пищевом производстве, продемонстрировано их влияние на физико-химические, сенсорные и органолептические свойства продуктов питания и напитков. Развитие технологий способствует расширению ассортимента уже известных и широко используемых калорийных сахарозаменителей из крахмалсодержащего сырья, характеризующихся различным углеводным составом и свойствами. Отмечено, что за рубежом среди довольно большого количества сахарозаменителей, применяемых в пищевой промышленности, к одним из наиболее перспективных относят глюкозно-фруктозные сиропы. Они являются полноценными заменителями сахарозы и обладают рядом преимуществ. Доля глюкозно-фруктозных сиропов в общем объеме потребления сахарных сиропов ежегодно увеличивается во всем мире. Основным сырьем для производства ГФС в США служит кукурузный крахмал, в странах СНГ используют в том числе крахмал, получаемый из пшеницы и картофеля. Особую актуальность приобретают исследования, направленные на изучение и разработку биопроцессов, обеспечивающих производство конкурентоспособных ферментативных ГФС и других подслащивающих сиропов из альтернативных источников. Приведены сведения о разработках инновационных технологий получения сахарных сиропов из топинамбура и цикория, агавы, якона, сорго и риса. Описаны результаты исследований свойств данных сиропов и их влияние на физические и сенсорные, реологические и микроструктурные свойства продуктов, в технологии которых применялись данные сиропы. Благодаря различному углеводному составу, а также физико-химическим свойствам (степень гигроскопичности, антикристаллизационные свойства, уровень сладости, гликемический индекс и т. п.), сахарозаменители приобретают все большую популярность у производителей и потребителей и могут применяться в производстве продуктов питания и напитков как более технологичная замена кристаллического сахара.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Статья подготовлена в рамках выполнения исследований по государственному заданию № FGUS-2022-0012 Федерального научного центра пищевых систем им. В. М. Горбатова Российской академии наук.

Received 16.05.2022

Accepted in revised 01.06.2022

Accepted for publication 07.06.2022

© Kuzmina E. I., Egorova O. S., Akbulatova D. R., Sviridov D. A., Ganin M. Yu., Shilkin A. A., 2022

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

Review article

Open access

NEW TYPES OF SUGAR-CONTAINING RAW MATERIALS FOR FOOD PRODUCTION

Elena I. Kuzmina, Olesya S. Egorova*, Dilyara R. Akbulatova,
Dmitriy A. Sviridov, Mikhail Yu. Ganin, Aleksey A. Shilkin

All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry, Moscow, Russia

KEY WORDS:

sugar substitutes, sweetness
coefficient, high-calorie
sweeteners, sugar-containing raw
materials, sucrose, starch syrups,
glucose-fructose syrups, Jerusalem
artichoke and chicory syrups,
agave syrup, yacon syrup,
sorghum syrup, rice syrup

ABSTRACT

The global concept of conscious consumption and healthy life-style affects the development of the food industry. As a consequence, over the last several decades, a production of sugar substitutes has been increased, a search for and creation of new sweetening substances have been carried out. The paper presents a review of the domestic and foreign studies devoted to the use of sugar substitutes in various branches of the food industry. The information about new types of sugar substitutes from natural starch-containing raw materials and their properties is given. A possibility of replacing crystalline sugar with sugar substitutes in food production is described, their effect on the physico-chemical, sensory and organoleptic properties of foods and beverages is demonstrated. The development of the technologies facilitates an extension of the range of well-known and widely used high-calorie sugar substitutes from starch-containing raw materials, characterized by different carbohydrate composition and properties. It has been noted that out of quite a large number of sugar substitutes applied in the food industry abroad, glucose-fructose syrups (GFS) are among most promising. They are full-value sucrose substitutes and

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Кузьмина, Е. И., Егорова, О. С., Акбулатова, Д. Р., Свиридов, Д. А., Ганин, М. Ю., Шилкин, А. А. (2022). Новые виды сахаросодержащего сырья для производства пищевой продукции. *Пищевые системы*, 5(2), 145-156. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-145-156>

FOR CITATION: Kuzmina, E. I., Egorova, O. S., Akbulatova, D. R., Sviridov, D. A., Ganin, M. Yu., Shilkin, A. A. (2022). New types of sugar-containing raw materials for food production. *Food systems*, 5(2), 145-156. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2022-5-2-145-156>

have several advantages. A proportion of GFS in the total volume of sugar syrup consumption is increasing worldwide every year. The main raw material for production of GFS in the USA is corn starch; in the CIS countries, starch obtained from wheat and potato is also used. Studies aimed to investigation and development of bioprocesses that ensure production of competitive enzymatic GFS and other sweetening syrups from alternative sources are gaining in importance. The information is presented about the development of the innovative technologies for production of sugar syrups from Jerusalem artichoke and chicory, agave, yacon, sorghum and rice. The results of the study of properties of these syrups and their effect on the physical and sensory, rheological and microstructural properties of products, in which technologies these syrups were used, are described. Due to the different carbohydrate composition, as well as physico-chemical properties (a degree of hygroscopicity, anti-crystallization properties, a level of sweetness, glycemic index and so on), sugar substitutes acquire increasing popularity among producers and consumers, and can be used in food and beverage manufacturing as a more technological replacement of crystalline sugar.

FUNDING: The article was published as part of the research topic No. FGUS-2022–0012 of the state assignment of the V. M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of RAS.

1. Введение

Человек ежедневно употребляет в пищу в чистом виде или в составе напитков и продуктов питания различные сахаросодержащие продукты. Плоды, соки и мед — первые природные сладкие вещества, известные человечеству. Примерно с IX века н. э. в Европе началась эпоха сахара — самого распространенного, важного и универсального пищевого ингредиента, который, помимо обеспечения сладкого вкуса, выполняет множество функций. Сахар используют в качестве консерванта благодаря тому, что он ингибирует рост микроорганизмов; в хлебобулочных и кондитерских изделиях его применяют с целью удержания влаги; в консервированных фруктах и овощах — для усиления текстуры и цвета; в замороженных сладких смесях — для предотвращения образования крупных кристаллов льда [1–3]. При добавлении сахара к напиткам обеспечивается как сладость, так и ощущение вкуса, тело.

Сахара также играют важную роль при производстве продукции пивоваренной и винодельческой отраслей. Для изготовления плодовой алкогольной продукции соки разбавляют питьевой водой с целью понижения кислотности, а для увеличения сахаристости добавляют сахаросодержащие продукты. Соки большинства плодовых и ягодных культур содержат избыточное количество кислот при невысоком содержании сахаров [4].

При использовании кристаллического сахара в пищевом производстве зачастую возникает ряд проблем: микробиологические загрязнения, нестабильное качество, колебания значений различных характеристик продукта в зависимости от производителя, высокая стоимость и сезонный скачок цен в летний период. В связи с этим производители пищевых продуктов постоянно находятся в поиске альтернативного сырья, более стабильного по качеству и характеризующегося более низкой стоимостью. [2, 5–12].

Актуальные во всем мире идеи осознанного потребления и рационального подхода к своему здоровью влияют на развитие индустрии пищевых продуктов и охватывают все сегменты рынка, включая напитки, от безалкогольных до крепких спиртных. Как следствие, в последние несколько десятилетий увеличивается выпуск заменителей сахара, ведется поиск новых, безвредных для человека подслащающих веществ.

Существуют различные классификации сладких веществ: по происхождению (натуральные и искусственные), по степени сладости (с высоким и низким сахарным эквивалентом), по калорийности (высококалорийные, низкокалорийные, некалорийные), по химическому строению и др. На сегодняшний день известно большое число разнообразных природных (моносахариды, олигосахариды, гидролизаты крахмала, полиолы и т. п.) и синтетических веществ (ацесульфам калия, аспартам, цикламат, сахарин, сукралоза

и т. п.), обладающих сладким вкусом [1, 13–15]. Однако термин «сахар» подразумевает под собой только сахарозу, которая служит стандартом сладости вкуса, все остальные вещества, характеризующиеся сладким вкусом, называют заменителями сахара. В свою очередь, заменители сахара подразделяют на сахарозаменители и подсластители (Таблица 1). Различия их заключаются в том, что сахарозаменители обладают сладким вкусом и энергетической ценностью, близкими к сахарозе, и метаболизируются в организме с меньшей потребностью в инсулине, чем сахароза. Подсластители имеют либо нулевую калорийность, либо очень низкую, метаболизируются без участия инсулина, по вкусу слаще сахарозы и сахарозаменителей в сотни раз.

Таблица 1. Калорийность и сладость некоторых видов заменителей сахара

Table 1. Caloricity and sweetness of some types of sugar substitutes

| Наименование заменителя сахара | Энергетическая ценность, кКал | Коэффициент сладости (сладость, эквивалентная сахарозе) |
|------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Сахароза | 3,95 | 1,0 |
| Сахарозаменители | | |
| Глюкоза | 3,86 | 0,74 |
| Фруктоза | 3,99 | 1,2–1,8 |
| Моносахариды | | |
| Мальтоза | 3,62 | 0,23 |
| Лактоза | 2,0–4,0 | 0,16 |
| Крахмальные сиропы и патоки | | |
| Глюкозо-фруктозный сироп | 2,8–3,2 | 1,3 |
| Карамельная патока | 3,2 | 0,42 |
| Мальтозная патока | 3,2 | 0,42 |
| Высокосахаренная патока | 3,2 | 0,6 |
| Низкосахаренная патока | 3,2 | 0,3 |
| Сахарные спирты | | |
| Ксилит | 3,7 | 0,7–1,0 |
| Сорбит | 3,5 | 0,3–0,6 |
| Маннит | 3,8 | 0,6 |
| Эритрит | 0,2 | 0,7 |
| Подсластители | | |
| Сукралоза | 2,7–3,4 | 600 |
| Аспартам | 3,7–4,0 | 160–200 |
| Сахарин | 0 | 300–500 |
| Цикламат | 0 | 30–50 |
| Ацесульфам К | 0 | 200 |
| Стевиозид | 0,1 | 150–300 |
| Тауматин | 0 | 2000 |

Подсластители и заменители сахара все больше входят в нашу жизнь. В последние десятилетия отмечается интенсивный рост производства заменителей сахара. При общемировом объеме производства сахара около 130 млн т общая выработка заменителей сахара составляет до 15–20 млн т сахарного эквивалента, что, в свою очередь, приводит к снижению потребления сахарозы в чистом виде [3,14–17].

2. Сахарозаменители

2.1. Крахмальные патоки

В различных отраслях пищевой промышленности широкое распространение получили калорийные сахарозаменители из крахмалсодержащего сырья: различные виды крахмальной патоки, фруктоза, мальтоза, глюкозно-фруктозные сиропы [13,18,19].

Крахмальная патока — очищенный и концентрированный сироп различного углеводного состава, полученный при частичном гидролизе крахмала. Этот продукт одобрен для применения в пищевой промышленности в качестве сахарозаменителя в рецептурах различных продуктов питания, так как считается абсолютно безопасным для здоровья человека. Полная или частичная замена сахарозы крахмальными патоками способствует: снижению калорийности продукта, предотвращению кристаллизации сахара; понижению температуры замерзания молочных продуктов; улучшению вкуса и аромата; повышению влагоудерживающих свойств; увеличению срока годности; приданию готовому продукту дополнительных полезных свойств. Благодаря высокой сбраживающей и консервирующей способности, крахмальная патока используется в консервной промышленности, виноделии и пивоварении [20].

До недавнего времени отечественная пищевая промышленность производила только один вид крахмальной патоки — карамельную. На сегодняшний день современные технологии позволяют изготавливать крахмальную патоку четырех видов, в зависимости от процентного содержания углеводов: низкоосахаренная (глюкозный эквивалент 26–35%), карамельная (глюкозный эквивалент 36–44%), высокоосахаренная (глюкозный эквивалент 44% и более), мальтозная (доля мальтозы в углеводном составе — 38% и более) [21].

Разные виды патоки отличаются друг от друга по свойствам, соответственно, для разных продуктов питания может подойти не каждый вид патоки.

Низкоосахаренные крахмальные патоки характеризуются высокой вязкостью, связующим и антикристаллизационным действием.

При производстве аэрированных кондитерских изделий (зефир, пастила) применение низкоосахаренных патокок способствует улучшению структуры продукта за счет стабилизации пены и низкой гигроскопичности [20].

Сравнительная оценка таких показателей качества карамели, как растекаемость и гигроскопичность, показала, что благодаря низкому содержанию глюкозы, коэффициент растекания карамели, приготовленной на низкоосахаренной патоке, был меньше, чем у образцов карамели на инвертном сиропе. Также учеными было установлено, что низкоосахаренная патока является антикристаллизатором и ее использование в карамельном производстве обеспечивает повышение стойкости продукции в процессе хранения против намокания [22].

В результате исследований свойств фруктовых начинок для карамели без сахара было установлено, что замена сахара-песка на низкоосахаренную патоку позволяет продлить срок годности карамели, улучшить ее вкусовые свойства, снизить сахароемкость и энергетическую ценность. Использование патоки способствует увеличению содержания

редуцирующих веществ до 40%, что, в свою очередь, помогает избежать засахаривания начинки при ее хранении [23].

Высокое содержание декстринов в низкоосахаренной патоке обуславливает получение желейного мармелада с высокими вязкостными свойствами. В том числе использование низкоосахаренной патоки взамен сахара в рецептуре желейного мармелада позволяет отнести его к продуктам диетической направленности благодаря меньшему количеству углеводов и большому количеству полисахаридов [24].

Карамельные патоки — наиболее распространенный и широко применяемый вид патокок. Используются в основном в кондитерской промышленности: при производстве карамели и леденцов в качестве антикристаллизатора; при производстве ириса, помадки, халвы, шоколадных батончиков, мармелада, пастилы с целью улучшения жевательных свойств, а также цвета и вкуса благодаря реакции с молочными белками (реакция Майяра); при изготовлении мороженого для регулирования кристаллизации лактозы, с целью улучшения структуры, формы и вкуса продукта [20].

Исследования скорости процессов влагопереноса при хранении желейного мармелада показали существенное влияние количества используемой карамельной патоки на прочностные характеристики, текстуру и активность воды желейного мармелада. Кондратьев Н. Б. и соавторы [25] установили, что увеличение массовой доли патоки от 5,0 до 25,0% в составе жевательного мармелада приводит к увеличению скорости процесса влагопереноса приблизительно в два раза, при этом активность воды изделий практически не изменяется.

В процессе исследований влияния замены сахара патокой различных видов в рецептуре желейного мармелада авторами было отмечено, что образец мармелада, изготовленный на основе карамельной патоки, обладает наибольшей интенсивностью окраски по сравнению с образцами мармелада, произведенных с использованием сахара, высокоосахаренной и низкоосахаренной патокок [24].

Мальтозные патоки имеют ту же сладость, что и обычные карамельные, но они менее гигроскопичны за счет меньшего содержания глюкозы (до 10%). С внедрением современных технологий наметилась тенденция использования мальтозных патокок в карамельном производстве взамен традиционных патокок кислотного гидролиза. Низкий уровень содержания глюкозы в мальтозных патоках уменьшает потемнение высокотемпературной карамели, что особенно важно для производства прозрачных изделий. В качестве улучшителя при производстве хлеба и других выпечных изделий мальтозная патока способствует повышению эластичности и пористости мякиша, улучшению вкуса и аромата, выпечка дольше остается свежей. При консервации варенья, джемов и повидла мальтозная патока обеспечивает повышение вязкости готового продукта, улучшение вкуса; при производстве конфет, карамели, желе, пастилы, мармелада — предотвращение кристаллизации сахара, улучшение вкуса и цвета продукции. В пивоварении использование мальтозных патокок способствует интенсификации брожения благодаря составу, близкому к составу пивного сусла; также патоки применяются в качестве замены солода и несоложенных материалов [20,26,27].

Мальтоза не вызывает резкого повышения уровня сахара в крови, поэтому использование патоки с высоким содержанием мальтозы позволяет создавать рецептуры различных продуктов питания и напитков с пониженной сладостью, что особенно актуально для людей с сахарным диабетом.

Высокоосахаренные патоки обладают чистым, сладким вкусом ввиду специфичности своего углеводного состава (общее содержание редуцирующих веществ составляет

55–65%, соотношение глюкозы и мальтозы находится на уровне 30–40%). Такие патоки теряют антикристаллизационные свойства и характеризуются повышенной сладостью, сбраживаемостью, гигроскопичностью. Высокосахаренная патока в своем составе содержит в 3 раза меньше крупномолекулярных декстринов, чем обычная карамельная патока, благодаря чему обладает меньшей вязкостью. Использование высокосахаренной патоки при производстве джемов и начинок обеспечивает стабильность продукта за счет более низкого осмотического давления по сравнению с сахарозой, способствует предотвращению кристаллизации продукта, улучшению вкуса за счет снижения сладости и усиления фруктовых нот. Благодаря обеспечению дополнительного удерживания влаги, улучшению цвета и вкуса продукта за счет высокого количества сбраживаемых сахаров, частично сглаживания вкуса сахарозаменителей, сахарозу заменяют высокосахаренными патоками при производстве хлеба типа «Бородинский», фруктовых пирогов и бисквитов, засахаренных фруктов, кваса и пива, безалкогольных напитков, ликероводочных изделий [20,28].

При изготовлении помадных конфет, изделий с пенообразной структурой (пастилы, зефира) высокосахаренные патоки оказывают положительное влияние на вязкость, пластичность продукции.

Кремовая кондитерская масса, в состав которой входит высокосахаренная крахмальная патока, характеризуется наилучшей кремообразующей способностью и более нежной консистенцией, чем масса на сахарной пудре. При использовании сухой высокосахаренной патоки за счет ее высокой дисперсности и аморфизированной структуры происходит более интенсивное структурообразование кремовой массы [29].

2.2. Фруктоза

Фруктоза — наиболее сладкий сахарозаменитель, один из самых распространенных в природе сахаров, который содержится в меде, ягодах и фруктах. Фруктоза придает много полезных физических и функциональных свойств продуктам питания и напиткам, включая сладость, улучшение вкуса, развитие цвета и вкуса, снижение температуры замерзания и осмотическую стабильность. В смеси с другими синтетическими подсластителями фруктоза способна к синергизму, что позволяет создавать пищевые добавки высокой степенью сладости. Широко используется в газированных напитках, хлебобулочных изделиях, фруктовых консервах, джемах и желе, а также в молочных продуктах [1].

Необходимость разработки технологий кондитерских изделий с низким гликемическим индексом и оптимизации существующих рецептур с целью снижения в них легкоусвояемых углеводов, повышения биологической и физиологической ценности продукции, вызвана обеспокоенностью современных потребителей. Высокая калорийность кондитерских изделий может оказывать негативное воздействие на организм человека, сопровождающееся нарушениями углеводного и липидного обмена, развитием ожирения и сахарного диабета. Применение сахарозаменителей и подсластителей, которые не содержат калорий или состоят из углеводов с низким гликемическим индексом, является актуальным направлением разработок в области кондитерского производства.

При выборе фруктозы в качестве заменителя сахара в рецептуре вафель Попова Н. Н. и соавторы [30] руководствовались информацией о ее воздействии на гликемическую реакцию организма, калорийности, гигроскопичности и степени сладости. В результате проведенных исследований было установлено, что при введении фруктозы взамен

сахара в количестве 45–55% сохраняется качество вафель, они практически не отличаются по калорийности от образца на сахаре-песке, но при этом уровень глюкозы в крови после их употребления ниже на 20%.

Глубокое понимание применимости альтернативных подсластителей и углеводных полимеров в качестве ингредиентов при производстве шоколада без сахара имеет важное промышленное применение. Шоколад, не содержащий в своем составе сахарозу, подходит для спортсменов и людей, страдающих сахарным диабетом, не способствует излишнему отложению жиров в организме, не разрушает зубную эмаль, обладает низким гликемическим индексом. Aidoo R. P. с соавторами [31] было выявлено, что фруктоза способствует повышению твердости шоколадных конфет и шоколада.

Изучение основных физико-химических и технологических свойств фруктозы, выявление ее основных отличий от сахарозы и особенностей поведения в различных технологических операциях позволило Медведевой М. И. с соавторами [32] разработать технологию традиционного по внешнему виду и органолептическим показателям беже, обладающего пониженной энергетической ценностью, диетическими и диабетическими свойствами в результате замены сахарозы на фруктозу.

На основании исследований влияния сахарозаменителей (меда, ксилита, фруктозы и различных комбинаций фруктозы и ксилита) на физико-химические и органолептические показатели образцов кваса была рекомендована рецептура приготовления напитка брожения с заменой сахара на фруктозу и ксилит в соотношении 50/50, благодаря которой был получен образец с высокими органолептическими характеристиками и повышенной стойкостью [33].

2.3. Мальтоза

Мальтоза — солодовый сахар, природный дисахарид, молекула которого содержит два остатка D-глюкозы, причем один находится в фиксированной α -форме. Содержится в проросших зернах ячменя, ржи и некоторых других зерновых, в небольших количествах встречается в томатах, апельсинах, меде, дрожжах. Получают мальтозу при ферментативной переработке крахмала, используют в производстве вина и пива [13]. В кристаллическом состоянии мальтоза получена как в α -, так и β -форме. Мальтоза характеризуется менее сладким вкусом по сравнению с сахарозой, глюкозой и фруктозой. Ее часто используют в производстве продуктов для диетического питания: мюсли, хлебцы, питательные батончики, растворимые напитки [34]. Кроме того, мальтоза рекомендуется для производства продуктов детского питания, так как она менее аллергенна, чем глюкоза и сахароза.

Использование мальтозы замедляет черствение хлебобулочных и мучных кондитерских изделий, улучшает структуру и внешний вид выпечки, стабилизирует натуральный цвет фруктов и может препятствовать кристаллизации сахарозы.

2.4. Сиропы

Глюкозно-фруктозный сироп (ГФС) — продукт, который получают путем изомеризации части D-глюкозы крахмала в D-фруктозу. Продукт состоит в основном из фруктозы и глюкозы, поэтому по сладости и питательной ценности равноценен сахарозе [35, 36].

ГФС производится на основе природного зернового сырья путем выделения крахмальной фракции, проходящей затем стадию ферментного или кислотного осахаривания. Процесс осахаривания можно контролировать и направлять, получая желаемый углеводный состав готового продукта.

При производстве ГФС удается достигнуть соотношения моносахаридов, практически идентичного составу пчелиного меда: 58–66% глюкозы, 42–44% фруктозы.

За рубежом среди довольно большого количества сахарозаменителей, применяемых в пищевой промышленности, глюкозно-фруктозный сироп оказался одним из наиболее перспективных. Этот продукт широко признан на мировом рынке, так как по своим свойствам (сладость, пищевая ценность и др.) он конкурирует со свекловичным и тростниковым сахаром. Особое внимание уделяют глюкозно-фруктозным сиропам (ГФС) с высоким содержанием фруктозы (ВФС), которые по своим физико-химическим свойствам наиболее приближены к сахару и могут напрямую его заменять в различных категориях продуктов питания и напитков [3,6,7,10,28,37–41]. В России эти сиропы известны как глюкозно-фруктозный сироп, кукурузный сироп, высокофруктозный зерновой сироп и т. д.

В США, где ГФС получил наиболее широкое распространение, сироп используется в качестве сахарозаменителя в продуктах питания (йогурты, мучные кондитерские изделия, салатные заправки и т. д.) и напитках (безалкогольные напитки, соки) [38,39,42]. Глюкозно-фруктозные сиропы являются не только полноценными заменителями сахарозы, но и имеют ряд преимуществ — более низкую (на 10–40%) стоимость, быструю усвояемость организмом; их применение позволяет на 1/3 снизить калорийность разнообразных пищевых продуктов и напитков. Производство глюкозно-фруктозных сиропов в промышленно развитых странах достигает огромных размеров. При этом наиболее важным для пищевой промышленности США является сироп с высоким содержанием фруктозы (ВФС), он имеет обозначения «Общепризнанный безопасный» (GRAS) и «натуральный» от Управления по контролю за продуктами питания и лекарствами США [37].

В России до недавнего времени ассортимент выпускаемых промышленностью сахаристых продуктов практически был ограничен кристаллической сахарозой и крахмальной патокой. Конкурентная борьба в условиях рыночных отношений вынуждает промышленные предприятия расширять ассортимент производимых товаров с целью снижения зависимости от конъюнктуры рынка монопольного продукта [43]. Одним из способов диверсифицировать производство сахаристых продуктов может являться выпуск высокофруктозных сиропов (ВФС) из инвертного и других видов глюкозно-фруктозных сиропов (ГФС), а также чистой фруктозы, которые широко применяются за рубежом в качестве заменителей сахара. Высокую скорость развития рынка ГФС определяют в первую очередь его преимущества и усилия новых производителей по продвижению своей продукции, а также положительное влияние оказывают периоды роста цен на сахар. С начала 2020 года рост цен на сахар является одним из основных факторов развития рынка сахарных сиропов. По итогам 2021 года на фоне растущих цен на сахар ожидается высокий прирост производства сахарных сиропов. При этом прогнозируется рекордный рост спроса на ГФС [44].

Рынок сахарных сиропов в РФ продолжает активно развиваться — их использование в производстве пищевой продукции более технологично и обходится дешевле сахара. ГФС как более функциональный ингредиент вытесняет не только сахар, но и частично патоки. Доля глюкозно-фруктозных сиропов в общем объеме потребления сахарных сиропов ежегодно увеличивается [45]. В производстве напитков, кондитерских и хлебобулочных изделий, продуктов переработки фруктов и ягод, йогуртов, мороженого и других продуктов питания сахарные сиропы постепенно заменяют

сахар [10,28,40,41,46–49]. ВФС придают продуктам приятный мягкий вкус благодаря содержанию фруктозы, имеют сладость, близкую к сладости сахарозы и широко применяются в производстве безалкогольных напитков, молочных продуктов, консервированных фруктов и продуктов профилактического назначения. Это связано с тем, что высокофруктозные сиропы можно использовать вместо сахарозы без существенных изменений в рецептуре [37,40,50,51].

Главная функция глюкозно-фруктозного сиропа при производстве продуктов питания и напитков — замена сахара. Помимо сохранения профиля сладости, почти всегда ГФС способствует улучшению потребительских характеристик продукта — аромата, вкуса, срока хранения продукта. Глюкозно-фруктозные сиропы с содержанием фруктозы 55% имеют повышенную сладость, не кристаллизуются при повышенной плотности (75%), что особенно важно для их промышленного использования.

В США ГФС производят из кукурузы, в странах СНГ в качестве основного сырья используют в том числе крахмал, получаемый из пшеницы и картофеля [3,37,38,42,52]. Путем ферментативного гидролиза крахмал в крахмалосодержащем сырье постадийно превращается вначале в глюкозу, а затем в смесь глюкозы и фруктозы. Процесс может быть прекращен на разных стадиях, что позволяет получать глюкозно-фруктозные сиропы с различным соотношением глюкозы и фруктозы. В соответствии с международной классификацией производители различают несколько марок глюкозно-фруктозных сиропов в зависимости от содержания фруктозы: ГФС 1-го поколения (HFCS42) — 40–42% фруктозы; обогащенный ГФС 2-го поколения (HFCS55) — 55–60%; высокофруктозный сироп 3-го поколения (HFCS90) — 90–95%. В том числе в России осуществляется производство такой разновидности глюкозно-фруктозных сиропов, как фруктозный концентрат из пшеницы (ГФС-70), содержание фруктозы в котором составляет не менее 70,0%, глюкозы — не более 30,0%, других сахаров — не более 5,0%. ГФС-70 получают из пшеничного крахмала посредством ферментативного гидролиза.

Глюкозно-фруктозные сиропы могут использоваться практически во всех сферах пищевой промышленности. В Таблице 2 представлена возможность применения наиболее распространенных натуральных подсластителей, в том числе ГФС, в основных пищевых сегментах [21].

В статье [40] показано влияние различных концентраций кукурузного сиропа с содержанием фруктозы 28%, 44% и 55% на текстурные свойства печенья. Результаты исследований не показали существенных различий в содержании влаги, жиров, белков и золы в образцах печенья на кукурузном сиропе и в образцах на инвертном сахаре и сахарозе. При этом анализ дополнительных показателей качества печенья (твердости, микроструктуры и цвета изделий, содержания гидроксиметилфурфуrolа, активности воды) позволил авторам рекомендовать сироп с содержанием фруктозы 42% в качестве альтернативы для замены сахарозы в рецептуре печенья.

Авторами [47] была предложена рецептура кваса диетического назначения с привлекательными органолептическими свойствами. Выбор ГФС в качестве замены сахара был обусловлен его диетическими свойствами, низкими аллергенными свойствами, высокой технологичностью, а также доступностью использования для питания дрожжей.

Рядом российских ученых были разработаны и экспериментально обоснованы композиционные составы мороженого функциональной направленности без сахарозы с низким содержанием жира и низким гликемическим индексом. В результате полной замены сахарозы на глюкозно-фрук-

тозный сироп гликемический индекс продукта был снижен в 1,5–1,8 раза, в том числе были отмечены: положительная тенденция к увеличению динамической вязкости смеси и устойчивости к таянию; формирование кристаллов льда и воздушных пузырьков с высокой дисперсностью; высокая способность смеси к насыщению воздухом; снижение криоскопической температуры смеси [10,48].

Таблица 2. Применение сахарозаменителей в различных отраслях пищевой промышленности [21]

| Продукция | Сахарозаменитель | | | |
|---------------------------------------------|--------------------------|-------------------------|----------------------------|---------------------------|
| | Фруктоза кристаллическая | Глюкоза кристаллическая | Кукурузные сиропы (патоки) | Глюкозно-фруктозный сироп |
| Хлебобулочные изделия | | | | |
| — хлеб | + | + | – | + |
| — торты/пирожные | + | + | – | + |
| — выпечка | + | + | + | + |
| — снеки | + | + | + | + |
| — хлопья/ мюсли | + | + | + | + |
| Продукты для здорового питания/ диетические | | | | |
| — питательные батончики | + | – | + | + |
| — напитки | + | – | + | + |
| — молочные продукты | – | – | + | + |
| — аналоги мяса | – | – | – | – |
| Напитки | | | | |
| — функциональные | + | + | + | + |
| — безалкогольные | + | + | – | + |
| — соки | + | – | – | + |
| — быстрорастворимые | + | + | + | – |
| — алкогольные | + | + | – | + |
| Молочные продукты | | | | |
| — кисломолочные продукты | + | + | + | + |
| — молоко | + | – | + | + |
| — сыр | – | – | – | – |
| — мороженое | + | – | + | + |
| Кондитерские изделия | | | | |
| — шоколад/шоколадные покрытия | + | + | + | – |
| — конфеты | + | + | + | – |
| — джемы/ желе | – | + | + | – |
| — консервы плодово-ягодные | – | + | + | + |

В настоящее время растущий спрос на кукурузный крахмал, основной субстрат для производства ГФС, привел к увеличению его стоимости. Таким образом, особую актуальность приобретают исследования, направленные на изучение и разработку биопроцессов, обеспечивающих производство конкурентоспособных ферментативных ГФС и других подслащивающих сиропов из альтернативных источников (топинамбура, цикория, агавы, якона, риса и др.) [8,53–60]. Данные сиропы приобретают все большую популярность у производителей и потребителей в качестве здоровой замены сахара.

Сиропы из топинамбура и цикория. Инулин — растительный полисахарид фруктанового типа, широко распространенный в природе. Благодаря своим универсальным физико-химическим свойствам и физиологическим функциям, инулин широко применяется в пищевой, фармацевтической

и многих других областях. Обладает уникальными физиологическими свойствами: улучшает работу пищеварительной системы человека, способствует росту полезной микрофлоры кишечника, а также повышению иммунитета, улучшает усвоение кальция, магния, снижает уровень холестерина [61–63]. Основными источниками этого инновационного пищевого ингредиента являются корнеплоды топинамбура и цикория. Инулин относят к достаточно дешевому и доступному сырью для получения фруктозы и фруктозосодержащих продуктов, таких как фруктозо-глюкозные сиропы с высоким содержанием фруктозы.

Филатов С. Л. и соавторы [60] предложили и в производственных условиях апробировали современную инновационную мембранную технологию получения фруктозно-глюкозного и фруктоолигосахаридного биосиропов из топинамбура. Для апробации использования в пищевой промышленности авторами приведена сравнительная характеристика сиропов из сахарной свеклы и топинамбура, которые были получены на промышленном предприятии. Изучен углеводный состав биосиропов с высоким содержанием фруктозы, которые были протестированы в приготовлении безалкогольных напитков.

Для получения сиропа из топинамбура с высокой концентрацией фруктозы, содержащего полезный редкий сахар D-аллулозу (низкокалорийный эпимер фруктозы), Ping Zhu с соавторами [64] разработали однокомпонентную двухферментную реакцию систему, благодаря которой был получен сироп с соотношением D-глюкозы, D-фруктозы и D-аллулозы приблизительно 1:3:1.

В работе [49] показана возможность использования фруктозо-глюкозного сиропа на стадии брожения в технологии приготовления хлебного кваса. Благодаря частичной замене сахарного сиропа, идущего на брожение, в количестве 40% от объема интенсифицируется процесс брожения квасного суслу, улучшаются органолептические и функциональные свойства готового напитка. Было проведено исследование совместного развития пробиотических бактерий видов *B. bifidum* и *L. acidophilus* и штамма пивных дрожжей *Saccharomyces cerevisiae* в условиях сбраживания квасного суслу с фруктозо-глюкозным сиропом из топинамбура. Согласно результату, увеличение содержания глюкозы и фруктозы в квасном сусле способствует приросту популяций микроорганизмов во всех экспериментальных образцах в экспоненциальную фазу. При этом число микроорганизмов возрастает в среднем в 2 раза, независимо от вида пробиотика в составе симбиоза, что позволяет обеспечить максимальную концентрацию клеток за 12 часов брожения и интенсифицировать процесс на 6 часов за счет сокращения лаг- и экспоненциальной фаз роста [50].

Zacharová M. с соавторами [65] исследовали влияние замены сахарозы сиропом олигофруктозы цикория на текстуру, удельный объем и сенсорные характеристики кексов. Было установлено, что замена сахара сиропом из цикория способствовала увеличению упругости продукта. Добавление сиропа оказало некоторое влияние на сенсорные характеристики, исследователи отметили наличие интенсивного карамельного вкуса и более коричневого цвета корочки кексов. В тоже время было установлено, что тесто с добавлением сиропа твердеет быстрее, чем тесто на сахарозе. Авторы отмечают необходимость проведения более обширных исследований влияния замены сахара на сироп цикория в рецептуре кексов.

Сироп агавы, благодаря природному происхождению и предполагаемым нутрицевтическим свойствам, активно завоевывает популярность на рынке здоровых, органических, функциональных и диабетических продуктов питания.

За счет высокого содержания фруктозы сироп из агавы часто сравнивают с сиропами из кукурузы, однако, в отличие от высокофруктозных сиропов из кукурузы, сироп из агавы содержит более широкий спектр микроэлементов и биологически активных соединений: фруктаны, полифенолы, флавоноиды, дубильные вещества и сапонины. Ozuna С. с соавт. провели анализ обзора последних научных исследований, связанных с применением сиропа агавы в пищевой промышленности и его воздействием на здоровье потребителей. Авторами установлена необходимость надлежащего контроля за технологическими параметрами производственного процесса получения сиропа из агавы, которые оказывают значительное влияние на физико-химические и функциональные свойства получаемого сиропа. Отмечено использование сиропа агавы в качестве частичного или полного заменителя сахарозы в производстве продукции хлебопекарной и кондитерской промышленности, а также при изготовлении функциональных напитков [57].

Изучению влияния замены сахарозы сиропом агавы на реологические и микроструктурные свойства теста для кексов, а также на физические и сенсорные свойства выпеченного продукта показана в статье [66]. Результаты исследования показали, что использование сиропа агавы оказало влияние на цветовые характеристики продукта. Так, например, по мере увеличения объема замещения сахарозы цвет кексов становился более темным, чем в контрольных образцах, при этом корочка приобретала красные оттенки, а мякиш частично терял желтизну. В том числе при замене сахарозы на сироп из агавы было отмечено снижение вязкости и увеличение температуры терморективности теста. Установлено, что при замене 75% сахарозы сиропом агавы в рецептуре кексов опытные образцы выпеченных изделий обладают физическими и сенсорными характеристиками, аналогичными характеристикам изделий, которые содержат 100% сахарозы.

Разработана рецептура батончиков мюсли с ингредиентами на основе агавы, в том числе с сиропом агавы в качестве подсластителя. Батончики мюсли были приготовлены путем замены меда сиропом из агавы и пшеничной муки на пищевые волокна агавы. Zamora-Gasga V. M. с соавторами [67] продемонстрировали возможность использования сиропа агавы для снижения исходного содержания сахарозы на 10% в исходном продукте без ущерба для сенсорных свойств батончика мюсли. Кроме того, прогнозируемое понижение гликемического индекса придает дополнительную ценность продукту.

В кондитерском производстве сироп агавы оценивали в качестве возможного подсластителя при разработке функциональных конфет, желе и шоколадных конфет. Šeremet D. и др. [68] в рецептуре конфет с белым чаем использовали различные заменители сахарозы (стевиолгликозиды, сорбит и сироп агавы), гидроколлоиды (агар и пектин) и пищевые волокна (инулин и подорожник). Добавление сиропа агавы и пектина способствовало увеличению содержания сухих веществ и потемнению конечного продукта по сравнению с другими рецептурами. Что касается текстуры, то использование сиропа агавы и пектина увеличило эластичность и уменьшило твердость конфет. Показано, что сироп агавы не оказывал влияния на концентрацию биологически активных соединений или антиоксидантную способность продукта, по сравнению с контролем.

При разработке функциональных желе Čižauskaitė и соавторы показали возможность применения желатина и сиропа агавы в качестве базового состава для рецептуры желе, который может быть дополнен активными ингредиентами и пищевыми добавками, улучшающими восприятие вкуса продукта потребителями [69].

Belščak-Cvitanović A. и его соавторы [70] проводили исследование по оценке влияния замены сахарозы сиропом агавы на физические, биологически активные и сенсорные свойства шоколадных конфет с низким содержанием сахара. Несмотря на то, что сенсорные характеристики конфет были оценены положительно, твердость полученного продукта была выше, чем у контрольного шоколада. Содержание сахара в шоколаде, подслащенном сиропом агавы, было ниже, чем в контрольном образце, при этом калорийность обоих образцов была одинаковой. Каких-либо существенных изменений в содержании биологически активных соединений при использовании сиропа агавы в качестве подсластителя отмечено не было.

Сироп из якона — натуральный подсластитель. Его готовят путем выпаривания сока из богатых инулином клубней якона, после нагревания которого получают тягучую жидкость темного цвета, по внешнему виду похожую на мед, а по вкусу — на карамелизованный сахар. Процесс получения сиропа якона полностью натуральный, а конечный продукт не имеет никаких посторонних примесей.

Целью исследований Романюк Т. И. и др. стало изучение процесса биоконверсии инулинсодержащего сырья якона для получения глюкозо-фруктозных сиропов [71]. Использование инулинсодержащего сырья для получения ГФС позволяет значительно уменьшить количество глюкозы в продукте, а долю фруктозы увеличить до 97%. Авторами предложен рациональный режим гидротермообработки клубней якона, а также режимы и параметры осахаривания якона ферментным препаратом. Получен фруктозо-глюкозный сироп, представляющий собой вязкую жидкость без осадка и посторонних включений, имеющий сладкий вкус без горечи, с содержанием фруктозы 87–89%, глюкозы 1% и инулина 1–2%.

Сироп сорго производят путем прессования стеблей сахарного сорго. В отличие от ГФС из кукурузы, который получают путем выделения кукурузного крахмала и его последующего гидролиза, ГФС из сорго получают посредством механического выделения сиропа и очищения его от органических соединений, солей и других веществ. Таким образом, получают ГФС, идентичный кукурузному, но более экологичный. Углеводный состав сиропа сорго представлен в основном сахарозой, фруктозой и глюкозой, а также в небольших количествах мальтозой, маннозой и арабинозой.

Голубева Л. В. с соавторами [72] на основе изучения физико-химических свойств сиропа сахарного сорго разработали рецептуру мягкого мороженого на его основе. Отмечено, что применение композиции сахарозы и моносахаров (глюкозы или фруктозы) способствует снижению криоскопической температуры смеси для мороженого, в результате чего уменьшается массовая доля влаги, вымораживаемой при фризировании смесей. Высокая антиоксидантная активность сиропа способствовала получению продукта с улучшенными органолептическими свойствами и увеличенным сроком годности за счет ингибирования процесса окисления липидов в процессе хранения мороженого [72].

Результаты исследований казахских ученых показали, что использование подсластителя при выпечке хлеба положительно влияет на его аминокислотный состав, содержание витаминов, микро- и макроэлементов и пищевую ценность. Сахара сиропа из сорго оказывают влияние на вкус, активность ферментативной микрофлоры, консистенцию, структуру и другие свойства теста и готовой продукции. В результате использования сиропа сорго готовые продукты имеют улучшенный цвет корочки. В присутствии сахаров сорго повышается ферментативная активность дрожжей, а также объем и пористость хлеба; при этом вязкость мякиша уменьшается [73].

Крахмал красного сорго так же, как и пшеничный крахмал, содержит амилозу и амилопектин. Однако крахмал красного сорго не подходит для замены пшеничного крахмала в хлебопекарном производстве в связи с отсутствием в его составе клейковины. При этом он обладает достаточным потенциалом для переработки с целью получения сахарного сиропа. Целью исследования ученых из Индонезии [74] стало определение оптимального параметра процесса гидролиза, который позволит получить продукт с максимальным содержанием сахаров. В процессе гидролиза крахмала авторы применяли фермент α -амилазу, который содержит амилопектин, для образования декстрина, затем продолжали процесс осахаривания с применением фермента глюкоамилазы для превращения декстрина в глюкозу. Авторами подобраны дозы и соотношение объемов ферментных препаратов, концентрация субстрата, технологические параметры процесса гидролиза (температура и время) для получения высокофруктозного сиропа с максимальным содержанием редуцирующих сахаров [74].

В литературных источниках выдвигаются предположения о том, что чрезмерное потребление фруктозы, особенно в составе безалкогольных напитков, может быть одной из основных причин развития ожирения, сахарного диабета 2-го типа, жировой болезни печени, резистентности к инсулину [75,76]. Поэтому в последнее время многие потребители избегают приобретения продуктов питания, сладостей и напитков, содержащих в своем составе фруктозу [4]. Поиск новых видов сырья и разработка технологии получения новых видов заменителей сахара остается актуальным направлением исследований.

Рисовый сироп изготавливают из рисового крахмала путем ферментации. Отличительной особенностью сиропа из риса является то, что в его углеводном составе отсутствует фруктоза. Основной состав сахаров рисовых сиропов представлен различными комбинациями мальтозы, глюкозы, мальтотриозы, сахарозы, рафинозы и стахиозы. Это здоровая гипоаллергенная альтернатива рафинированному сахару, не содержащая глютена. Сахарный сироп из риса может применяться в качестве потенциального сырья для производства таких пищевых продуктов, как хлеб, кондитерские изделия, мороженое, а также в качестве добавок в пивоварении, поскольку сахарный профиль рисового сиропа аналогичен профилю ячменного сула.

Ученые из Нигерии проводили исследования состава сахаров рисового сиропа. С этой целью муку из десяти сортов местного риса обрабатывали комбинацией ферментов, гидролизующих крахмал. С помощью метода ВЭЖХ оценивали содержание сахаров (мальтоза, глюкоза, мальтотриоза, сахароза, рафиноза и стахиоза) в полученных образцах рисового сиропа. Результаты показали, что содержание мальтозы и мальтотриозы в сиропах из соложенного риса значительно выше, чем в сиропах из несоложенного риса. Полученный сироп представлял собой «Сироп с высоким содержанием мальтозы», поскольку было обнаружено, что мальтоза является преобладающим сахаром в рисовом сиропе с концентрацией выше 50% [78].

Masood S. и соавторы [70] исследовали влияние замены белого сахара на осветленный рисовый сироп при производстве шоколадного сиропа, сиропа кардамона, сиропа алоэ вера и сливового сиропа. В ходе исследования срока годности в течение 48 недель все параметры, включая микробиологические, физико-химические и сенсорные показатели, были признаны приемлемыми. В процессе хранения было установлено незначительное снижение кислотности и антиоксидантной активности, а также увеличение содержания растворимых сухих веществ во всех исследуемых продуктах; никаких заметных изменений в показателях качества не было обнаружено. Отмечено, что сиропы, приготовленные путем замены столового сахара рисовым сиропом, обладают мягким сладким вкусом [79].

3. Заключение

Новые виды заменителей сахара, в том числе из природного крахмалсодержащего сырья, находят широкое применение в различных отраслях пищевой промышленности. Выбор сырья, технологии и параметров производства сахарозаменителей обуславливает их углеводный состав и таким образом оказывает влияние на такие физико-химические свойства как степень гигроскопичности, антикристаллизационные свойства, уровень сладости, гликемический индекс и т. п. Исследования применения различных сахарозаменителей в технологии продуктов питания и напитков показывают возможность получения пищевых продуктов с заданными органолептическими, сенсорными и диетическими свойствами.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Жаббарова, С. К. (2019). Влияние сахарозаменителей и подсластителей на безвредность кондитерских изделий. *Universum: технические науки*, 2(59), 27–31.
2. Ермолаева, Г. А., Сапронова, Л. А., Кривовоз, Б. Г. (2012). Сахар и его заменители в производстве продуктов питания. *Пищевая промышленность*, 6, 48–51.
3. Singh, P., Ban, Y. G., Kashyap, L., Siraree, A., Singh, J. (2020). Sugar and Sugar Substitutes: Recent Developments and Future Prospects. Chapter in a book: *Sugar and Sugar Derivatives: Changing Consumer Preferences*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6663-9_4
4. Taş, F. (2020). Knowledge attitudes and behaviors of adult individuals about high fructose corn syrup consumption; cross sectional survey study. *Clinical Nutrition ESPEN*, 40, 179–186. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2020.09.025>
5. Ермолаева, Г. А., Сапронова, Л. А. (2012). Сахар и сахаристые продукты в производстве напитков. *Пиво и напитки*, 3, 36–39.
6. Андриевская, Д. С., Захаров, М. А., Ульянова, Е. В., Ободеева, О. Н. (2021). Изучение влияния сахаросодержащего сырья на качественные характеристики коньяков. *Ползуновский вестник*, 1, 34–43. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.005>
7. Песчанская, В. А., Андриевская, Д. В., Ульянова, Е. В. (2020). Перспективы использования глюкозно-фруктозных сиропов при производстве спиртных напитков. *Пиво и напитки*, 3, 13–16. <https://doi.org/10.24411/2072-9650-2020-10033>
8. Изтаев, А., Языкбаев, Е. С., Якияева, М. А., Курбаниязов, С. К. (2022). Сорговый сироп — альтернатива сахару при производстве продуктов питания. *Пищевая промышленность*, 4, 12–15. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.4.4.002>
9. Кульнева, Н. Г., Гойкалова, О. Ю., Шматова, А. И. (2015). Факторы, формирующие качество сахара-песка. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 1(63), 188–190.
10. Шобанова, Т. В., Творогова, А. А. (2021). Влияние замены сахарозы глюкозно-фруктозным сиропом на показатели качества мороженого пломбир. *Техника и технология пищевых производств*, 51(3), 604–614. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-604-614>
11. Даишева, Н. М., Люсий, И. Н., Семенихин, С. О., Котляревская, Н. И., Усманов, М. М. (2018). Требования к качеству и безопасности сахара, используемого при производстве пищевой продукции. *Электронный сетевой политематический журнал «Научные труды КубГТУ»*, 8, 33–42.
12. Резниченко, И. Ю., Щеглов, М. С. (2020). Сахарозаменители и подсластители в технологии кондитерских изделий. *Техника и технология пищевых производств*, 50(4), 576–587. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-576-587>
13. Заменители сахарозы. Пищевые ингредиенты и добавки. Электронный ресурс https://itexn.com/9514_zameniteli-saharozy-pishhevyey-ingredienty-i-dobavki.html Дата обращения 21.03.2022.
14. Castro-Muñoz, R., Correa-Delgado, M., Córdova-Almeida, R., Lara-Nava, D., Chávez-Muñoz, M., Velásquez-Chávez, V. F., et al. (2022). Natural sweeteners: Sources, extraction and current uses in foods and food industries. *Food Chemistry*, 370, Article 130991. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130991>

15. Saraiva, A., Carrascosa, C., Raheem, D., Ramos, F., Raposo, A. (2020). Natural sweeteners: The relevance of food naturalness for consumers, food security aspects, sustainability and health impacts. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17, Article 6285. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176285>
16. Ruchi, C., Gopal, K. (2021). A review study on various types sugars & their functional properties. *ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal*, 11(11), 437–443. <https://doi.org/10.5958/2249-7137.2021.02489.7>
17. Ландиховская, А. В., Творогова, А. А. (2021). Нутриентный состав мороженого и замороженных десертов: современные направления исследований. *Пищевые системы*, 4(2), 74–81. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-2-74-81>
18. Лукин, Н. Д., Серегин, С. Н., Сидак, М. В., Сысоев, Г. В. (2021). Глубокая переработка крахмалсодержащего сырья: современное состояние и перспективы устойчивого развития. *Пищевая промышленность*, 11, 30–41. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.11.11.011>
19. Апанайкин, М. А. (2020). Особенности рынка крахмалопродуктов в России в условиях пандемии. *Экономика: вчера, сегодня, завтра*, 10(9–1), 458–464. <https://doi.org/10.34670/AR.2020.69.18.051>
20. Патока: виды, свойства, цели использования. Электронный ресурс <http://foodtechnologist.ru/2016/12/16/patoka-vidy-svoystva-tseli-ispolzovaniya/> Дата обращения 28.03.2022
21. Крахмальные сиропы: виды и свойства. Электронный ресурс https://www.newchemistry.ru/printletter.php?n_id=6700 Дата обращения 28.03.2022
22. Ермачкова, В. В. (2017). Сравнительная характеристика свойств карамели, приготовленной на инвертном сиропе и патоке. *Colloquium-journal*, 11–2(11), 28–30.
23. Плотникова, И. В., Трощенко, В. В., Наумченко, И. С., Плотников, В. Е. (2017). Исследование свойств фруктовых начинок без сахара на основе низкосахаренной патоки. *Уральский Научный Вестник*, 11(3), 053–055.
24. Магомедов, Г. О., Плотникова, И. В., Магомедов, М. Г., Трощенко, В. В. (2018). Оценка качества желевого мармелада с различным углеводным составом. *Известия Высших Учебных Заведений. Пищевая технология*, 1(361), 69–73.
25. Кондратьев, Н. Б., Казанцев, Е. В., Осипов, М. В., Баженова, А. Е., Липовская, Н. В. (2020). Влияние количества патоки на процессы влагопереноса при хранении мармелада. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 82(4(86)), 24–29. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-4-24-29>
26. Кокаева, З. К., Цыганова, Т. Б. (2013). Применение патоки в производстве пищевых продуктов. В книге: Мальтозная патока: состав, свойства и применение. — Владикавказ: Северо-Осетинский государственный университет имени К. Л. Хетагурова, 2013.
27. Ofoedu, C. E., Osuji, C. M., Ojukwu, M. (2019). Sugar. Profile of syrups from malted and unmalted rice of different varieties. *Journal of Food Research*, 8(1), 52–59. <https://doi.org/10.5539/jfr.v8n1p52>
28. Мамедов, Э. Р., Баракова, Н. В. (2020). Применение сахаристых крахмалопродуктов в рецептурах ликероводочных изделий. *Научный журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств*, 2(44), 41–48. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2020-10-2-41-48>
29. Магомедов, Г. О., Плотникова, И. В., Шевякова, Т. А., Плотников, В. Е. (2019). Оптимизация рецептурного состава и показателей качества кремовой кондитерской массы с использованием крахмальной патоки. *Известия Высших учебных заведений. Пищевая технология*, 1(367), 50–54. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.1.12>
30. Попова, Н. Н., Щегелина, И. П., Денисова, А. А., Киселева, Е. А. (2016). Разработка вафель с пониженным гликемическим индексом. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*, 4(70), 181–186. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-4-181-186>
31. Aidoo, R. P., Depypere, F., Afoakwa, E. O., Dewettinck, K. (2013). Industrial manufacture of sugar-free chocolates — Applicability of alternative sweeteners and carbohydrate polymers as raw materials in product development. *Trends in Food Science and Technology*, 32(2), 84–96. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.05.008>
32. Медведева, М. И., Николаева, Н. В. (2021). Исследование возможности полной замены сахара на фруктозу в технологии производства пенообразных кондитерских изделий. *International Journal of Professional Science*, 11, 120–135. https://doi.org/10.54092/25421085_2021_11_120
33. Иванченко, О. Б., Данина, М. М. (2019). Использование сахарозаменителей в технологии хлебного кваса. *Научный Журнал НИУ ИТМО. Серия: Процессы и аппараты пищевых производств*, 2, 11–18. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2019-12-2-11-18>
34. Смеси моносахаридов — глюкозно-фруктозные сиропы. Электронный ресурс <http://saharmag.com/fix/sahara/hfs/> Дата обращения 26.01.2022.
35. Paulino, B. N., Molina, G., Pastore, G. M., Bicas, J. L. (2021). Current perspectives in the biotechnological production of sweetening syrups and polyols. *Current Opinion in Food Science*, 41, 36–43. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.004>
36. Parker, K., Salas, M., Nwosu, V. C. (2010). High fructose corn syrup: Production, uses and public health concerns. *Biotechnology and molecular biology reviews*, 5(5), 71–78.
37. Singh, I., Langyan, S., Yadava, P. (2014). Sweet corn and corn-based sweeteners. *Sugar Tech*, 16(2), 144–149. <https://doi.org/10.1007/s12355-014-0305-6>
38. Zargaraan, A., Kamaliroosta, L., Yaghoubi, A. S., Mirmoghataie, L. (2016). Effect of substitution of sugar by high fructose corn syrup on the physicochemical properties of bakery and dairy products: A review. *Nutrition and Food Sciences Research*, 3(4), 3–11. <https://doi.org/10.18869/acadpub.nfsr.3.4.3>
39. Khorshidian, N., Shadnoush, M., Zabihsadeh Khajavi, M., Sohrabvandi, S., Yousefi, M., Mortazavian, A. M. (2021). Fructose and high fructose corn syrup: are they a two-edged sword? *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 72(5), 592–614. <https://doi.org/10.1080/09637486.2020.1862068>
40. Ershadi, A., Azizi, M. H., Najafian, L. (2021). Incorporation of high fructose corn syrup with different fructose levels into biscuit: An assessment of physicochemical and textural properties. *Food Science and Nutrition*, 9(10), 5344–5351. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2452>
41. Helstad, S. (2019). Corn Sweeteners. Chapter in a book: *Corn* (Third Edition). Chemistry and Technology. Woodhead Publishing and AAC International Press, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00020-6>
42. Лукин, Н. Д., Серегин, С. Н., Тен, А. Д., Сысоев, Г. В. (2021). Диверсификация экономики крахмалопаточной промышленности на основе глубокой переработки крахмалсодержащего сырья. *Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве*, 8(77), 78–97. <https://doi.org/10.33938/218-78>
43. Анализ российского рынка глюкозно-фруктозных сиропов, 2021. Электронный ресурс <http://www.centripap.ru/report/food/Soy/gfs/> Дата обращения 15.02.2022.
44. ИКАР: итоги года-2021. Сахар и свекла. Электронный ресурс <http://ikar.ru/lenta/737.html> Дата обращения 18.02.2022.
45. Старовойтова, О. В., Мухаметзянова, Е. Ю., Решетник, О. А. (2017). Глюкозно-фруктозный сироп в производстве мучного кондитерского изделия. *Вестник технологического университета*, 20(22), 131–134.
46. Гнездилова А. И., Музыкантова А. В., Виноградова Ю. В. (2017). Молочный концентрированный сладкий продукт. *Молочнохозяйственный вестник*, 1(25), 84–90.
47. Колобаева, А. А., Котик, О. А., Королькова, Н. В., Бутова, С. В. (2017). Разработка технологии кваса диетического назначения. *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*, 3(54), 151–157. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2017.3.151>
48. Ландиховская, А. В., Творогова, А. А., Казакова, Н. В. (2021). Применение глюкозно-фруктозных сиропов в мороженом без сахарозы с низким содержанием жира. *Пищевая промышленность*, 5, 71–74. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.5.5.017>
49. Каменская, Е. П., Обрезкова, М. В. (2017). Применение фруктозо-глюкозных сиропов из клубней топинамбура в технологии производства хлебного кваса. *Технология и товароведение инновационных пищевых продуктов*, 1(42), 32–37.
50. Каменская, Е. П., Вагнер, В. А., Камаева, С. И. (2020). Исследование совместного развития пробиотиков и пивных дрожжей в технологии хлебного кваса с фруктозо-глюкозным сиропом. *Ползуновский вестник*, 1, 78–84. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.01.016>
51. White, J. S., Hobbs, L. J., Fernandez, S. (2015). Fructose content and composition of commercial HFCS-sweetened carbonated beverages. *International Journal of Obesity*, 39(1), 176–182. <https://doi.org/10.1038/ijo.2014.73>
52. Ли, Е. В., Суслянок, Г. М., Соколова, О. С. (2017). Производство фруктозного сиропа из топинамбура кислотным способом. *Аграрная Россия*, 2, 25–28.
53. Singh, R. S., Chauhan, K., Singh, R. P. (2017). Enzymatic Approaches for the Synthesis of High Fructose Syrup. Chapter in a book: *Plant Biotechnology: Recent Advancements and Developments*. Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2017. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4732-9_10
54. Johnson, R., Padmaja, G., Moorthy, S. N. (2009). Comparative production of glucose and high fructose syrup from cassava and sweet potato roots by direct conversion techniques. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10(4), 616–620. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.04.001>
55. Yulistiani, F., Saripudin, Maulani, I., Ramdhayani, W. S., Wibisono, W., Permasari, A. R. (2018). *Fructose syrup production from tapioca solid waste (onggok) by using enzymatic hydrolysis in various pH and isomerization process*. Journal of Physics: Conference Series. The 3rd International Conference of Chemical and Materials Engineering. 1295(1), Article 012032. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1295/1/012032>
56. Qi, X., Tester, R. F. (2020). Lactose, maltose, and sucrose in health and disease. *Molecular Nutrition and Food Research*, 64(8), Article 1901082 <https://doi.org/10.1002/mnfr.201901082>
57. Ozuna, C., Franco-Robles, E. (2022). Agave syrup: An alternative to conventional sweeteners? A review of its current technological applications and health effects. *LWT*, 162, Article 115434. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.115434>
58. Puchkova, T. S., Pikhalo, D. M., Karasyova, O. M. (2019). About the universal technology of processing jerusalem artichoke and chicory for inulin. *Food Systems*, 2(2), 36–43. <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2019-2-2-36-43>
59. Singh, R. S., Singh, T., Larroche, C. (2019). Biotechnological applications of inulin-rich feedstocks. *Bioresource Technology*, 273, 641–653. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.11.051>
60. Филатов, С. Л., Михайличенко, М. С., Петров, С. М., Подгорнова, Н. М. (2021). Натуральные сиропы из топинамбура с пребиотическими

- ми свойствами. *Пищевая промышленность*, 11, 15–21. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.11.11.005>
61. Надежкина, М. С., Сагина, О. А. (2020). Инулин: свойства, применение. *Мировой рынок инулина. Modern Science*, 1–2, 76–80.
 62. Gupta, N., Jangid, A. K., Pooja, D., Kulhari, H. (2019). Inulin: A novel and stretchy polysaccharide tool for biomedical and nutritional applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 852–865. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.188>
 63. Ni, D., Xu, W., Zhu, Y., Zhang, W., Zhang, T., Guang, C. et al. (2019). Inulin and its enzymatic production by inulosucrase: Characteristics, structural features, molecular modifications and applications. *Biotechnology Advances*, 37(2), 306–318. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.01.002>
 64. Zhu, P., Zeng, Y., Chen, P., Men, Y., Yang, J., Yue, X. et al. (2020). A one-pot two-enzyme system on the production of high value-added D-allulose from Jerusalem artichoke tubers. *Process Biochemistry*, 88, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.10.006>
 65. Zacharová, M., Burešová, I., Gál, R., Walachová, D. (2018). Chicory syrup as a substitution of sugar in fine pastry. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 12(1), 487–490. <https://doi.org/10.5219/890>
 66. Ozuna, C., Trueba-Vázquez, E., Moraga, G., Llorca, E., Hernandez, I. (2020). Agave syrup as an alternative to sucrose in muffins: Impacts on rheological, microstructural, physical, and sensorial properties. *Foods*, 9(7), Article A35. <https://doi.org/10.3390/foods9070895>
 67. Zamora-Gasga, V. M., Bello-Pérez, L. A., Ortiz-Basurto, R. I., Tovar, J., Sáyago-Ayerdi, S. G. (2014). Granola bars prepared with Agave tequilana ingredients: Chemical composition and invitro starch hydrolysis. *LWT – Food Science and Technology*, 56(2), 309–314. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.12.016>
 68. Šeremet, D., Mandura, A., Cebin, A. V., Martinić, A., Galić, K., Komes, D. (2020). Challenges in confectionery industry: Development and storage stability of innovative white tea-based candies. *Journal of Food Science*, 85(7), 2060–2068. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15306>
 69. Čižauskaitė, U., Jakubaitytė, G., Žitkevičius, V., Kasparavičienė, G. (2019). Natural ingredients-based gummy bear composition designed according to texture analysis and sensory evaluation in vivo. *Molecules*, 24(7), Article 1442. <https://doi.org/10.3390/molecules24071442>
 70. Belščak-Cvitanović, A., Komes, D., Dujmović, M., Karlović, S., Biškić, M., Brnčić, M. et al. (2015). Physical, bioactive and sensory quality parameters of reduced sugar chocolates formulated with natural sweeteners as sucrose alternatives. *Food Chemistry*, 167, 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.064>
 71. Романюк, Т. И., Чусова, А. Е., Тарарыков, М. П., Матвиенко, Н. А. (2021). Получение глюкозо-фруктозного сиропа из ячменя. *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. 85(2(88)), 87–92. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-2-87-92>
 72. Голубева, Л. В., Пожидаева, Б. А. (2019). Изучение функционально-технологических свойств сиропа сахарного сорго и его использование в технологии мороженого. *Техника и технология пищевых производств*, 49(5), 431–437. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-431-437>
 73. Mamaeva, L., Yerbulekova, M., Askarbekov, E., Ashimova, P., Muratbekova, K. (2020). Intensification of fermentation process using natural sweeteners. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 30, 137–141.
 74. Permanasari, A. R., Yulistiani, F., Djenar, N. S. (2017). Liquid sugar production from red sorghum starch as raw material to produce high fructose syrup (HFS). *Advanced Science Letters*, 23(6), 5775–5779. <https://doi.org/10.1166/asl.2017.8829>
 75. Coronati, M., Baratta, F., Pastori, D., Ferro, D., Angelico, F., Del Ben, M. (2022). Added fructose in non-alcoholic fatty liver disease and in metabolic syndrome: A narrative review. *Nutrients*, 14(6), Article 1127. <https://doi.org/10.3390/nu14061127>
 76. Tahmassebi, J. F., BaniHani, A. (2020). Impact of soft drinks to health and economy: a critical review. *European Archives of Paediatric Dentistry*, 21(1), 109–117. <https://doi.org/10.1007/s40368-019-00458-0>
 77. Оганесянц, Л. А., Панасюк, А. Л., Рейтблат, Б. Б. (2011). Теория и практика плодового виноделия. — Москва: Развитие, 2011.
 78. Ofoedu, C. E., Osuji, C. M., Ojukwu, M. (2019). Sugar profile of syrups from malted and unmalted rice of different varieties. *Journal of Food Research*, 8(1), 52–59. <https://doi.org/10.5539/jfr.v8n1p52>
 79. Masood, S., Ashraf, M., Ahmad, I., Nisa, A. Un. (2022). Replacement of table sugar with clarified rice syrup in beverages. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 57(1), 23–26. <https://doi.org/10.3329/bjsir.v57i1.58897>

REFERENCES

1. Jabbarova S. K. (2019). Influence of sugar-substitutes and sweeteners on the safety of confectionery products. *Universum: Technical Sciences*, 2(59), 27–31. (In Russian)
2. Ermolayeva, G. A., Saprionova, L. A., Krivovoz, B. G. (2019). Sugar and its substitutes in food production. *Food Industry*, 6, 48–51. (In Russian)
3. Singh, P., Ban, Y. G., Kashyap, L., Siraree, A., Singh, J. (2020). Sugar and Sugar Substitutes: Recent Developments and Future Prospects. Chapter in a book: *Sugar and Sugar Derivatives: Changing Consumer Preferences*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-6663-9_4
4. Taş, F. (2020). Knowledge attitudes and behaviors of adult individuals about high fructose corn syrup consumption; cross sectional survey study. *Clinical Nutrition ESPEN*, 40, 179–186. <https://doi.org/10.1016/j.clnesp.2020.09.025>
5. Ermolayeva, G. A., Saprionova, L. A. (2012). Sugar and sugary foods in the manufacture of beverages. *Beer and Beverages*, 3, 36–39. (In Russian)
6. Andriyevskaya, D. S., Zakharov, M. A., Ulyanova, E. V., Obodeyeva, O. N. (2021). Research of the influence of sugar-containing raw materials on qualitative characteristics of cognacs. *Polzunovskiy Vestnik*, 1, 34–43. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2021.01.005> (In Russian)
7. Peschanskaya, V. A., Andriyevskaya, D. V., Ulyanova, E. V. (2021). Prospects for the use of glucose-fructose syrups in the production of alcoholic beverages. *Beer and Beverages*, 3, 15–16. <https://doi.org/10.24411/2072-9650-2020-10033> (In Russian)
8. Iztayev, A., Yazykbayev, E. S., Yakiyayeva, M. A., Kurbaniyazov, S. K. (2022). Sorghum syrup is an alternative to sugar in food production. *Food Industry*, 4, 12–15. <https://doi.org/10.52653/PPI.2022.4.4.002> (In Russian)
9. Kil'neva, N. G., Goykalova, O. Yu., Shmatova, A. I. (2015). The factors forming quality of granulated sugar. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 1(63), 188–190. (In Russian)
10. Shobanova, T. V., Tvorogova, A. A. (2021). The effect of replacing sucrose with glucose-fruit syrup on the quality indicators of plombières ice-cream. *Food Processing: Techniques and Technology*, 51(3), 604–614. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2021-3-604-614> (In Russian)
11. Daisheva N. M., Lyciy I. N., Semikhin S. O., Kotlyarevskaya N. I., Usmanov M. M. (2018). Requirements for quality and safety of sugar used in food production. *Electronic Network Polythematic Journal «Scientific works of KubSTU»*, 8, 33–42 (In Russian)
12. Reznichenko, I. Yu., Scheglov, M. S. (2020). Sugar substitutes and sweeteners in confectionery technology. *Food Processing: Techniques and Technology*, 50(4), 576–587. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-576-587> (In Russian)
13. Sucrose substitutes. Food ingredients and additives. Retrieved from https://itexn.com/9514_zameniteli-saharozy-pishhevye-ingredienty-idobavki.html. Accessed March 21, 2022. (In Russian)
14. Castro-Muñoz, R., Correa-Delgado, M., Córdova-Almeida, R., Lara-Nava, D., Chávez-Muñoz, M., Velásquez-Chávez, V. F., et al. (2022). Natural sweeteners: Sources, extraction and current uses in foods and food industries. *Food Chemistry*, 370, Article 130991. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130991>
15. Saraiva, A., Carrascosa, C., Raheem, D., Ramos, F., Raposo, A. (2020). Natural sweeteners: The relevance of food naturalness for consumers, food security aspects, sustainability and health impacts. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(7), Article 6285. <https://doi.org/10.3390/ijerph17176285>
16. Ruchi, C., Gopal, K. (2021). A review study on various types sugars & their functional properties. *ACADEMICIA: An International Multidisciplinary Research Journal*, 11(11), 437–443. <https://doi.org/10.5958/2249-7137.2021.02489.7>
17. Landikhovskaya, A. V., Tvorogova, A. A. (2021). Ice cream and frozen desserts nutrient compositions: current trends of researches. *Food Systems*, 4(2), 74–81. <https://doi.org/10.21523/2618-9771-2021-4-2-74-81> (In Russian)
18. Lukin, N. D., Seregin, S. N., Sidak, M. V., Sysoev, G. V. (2021). Deep processing of starch-containing raw materials: current state and prospects for sustainable development. *Food Industry*, 11, 30–41. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.11.11.011> (In Russian)
19. Apanaikin, M. A. (2020). Features of the starch market in Russia in the context of the pandemic. *Economics: Yesterday, Today and Tomorrow*, 10(9–1), 458–464. <https://doi.org/10.34670/AR.2020.69.18.051> (In Russian)
20. Molasses: types, properties, purposes of use. Retrieved from <http://food-technologist.ru/2016/12/16/patoka-vidy-svoystva-tseli-ispolzovaniya/> Accessed March 28, 2022 (In Russian)
21. Starch syrups: types and properties. Retrieved from <https://www.newchemistry.ru/printletter.php?id=6700> Accessed March 28, 2022 (In Russian)
22. Ermachkova, V. V. (2017). The comparative characteristic of properties of the caramel made on invert syrup and treacle. *Colloquium-journal*, 11–2 (11), 28–30 (In Russian)
23. Plotnikova, I. V., Troschenko, V. V., Naumchenko, I. S., Plotnikov, V. E. (2017). Investigation of the properties of sugar-free fruit fillings based on low-sugar molasses. *Ural Scientific Bulletin*, 11(3), 053–055 (In Russian)
24. Magomedov, G. O., Plotnikova, I. V., Magomedov, M. G., Troshchenko, V. V. (2018). Quality assessment of marmalade jelly with different composition of carbohydrates. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 1(361), 69–73 (In Russian)
25. Kondratyev, N. B., Kazantsev, E. V., Osipov, M. V., Bazhenova, A. E., Linovskaya, N. V. (2020). The influence of the amount of caramel syrup on the processes of moisture transfer during the storage of marmalade. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 82(4(86)), 24–29. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2020-4-24-29> (In Russian)
26. Kokaeva, Z. K., Tsyganova, T. B. (2013). The use of molasses in food production. In the book: *Maltose molasses: composition, properties and application*. Vladikavkaz: K. L. Khetagurov North Ossetian State University, 2013. (In Russian)
27. Ofoedu, C. E., Osuji, C. M., Ojukwu, M. (2019). Sugar. Profile of syrups from malted and unmalted rice of different varieties. *Journal of Food Research*, 8(1), 52–59. <https://doi.org/10.5539/jfr.v8n1p52>

28. Mamedov, E. R., Barakova, N. V. (2020). Addition of starch-derived sweeteners to a liqueur blend. *Processes and Food Production Equipment*, 2(44), 41–48. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2020-10-2-41-48> (In Russian)
29. Magomedov, G. O., Plotnikova, I. V., Shavyakova, T. A., Plotnikov, V. E. (2019). Optimization of the formulation composition and quality cream confectionery mass with the use starch syrup. *Izvestiya Vuzov. Food Technology*, 1(367), 50–54. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2019.1.12> (In Russian)
30. Popova, N. N., Shchetilina, I. P., Denisova, A. A., Kiseleva, E. A. (2016). Development of wafers with lowered glycemic index. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*, 70(4), 181–186. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2016-4-181-186> (In Russian)
31. Aidoo, R. P., Depyepere, F., Afoakwa, E. O., Dewettinck, K. (2013). Industrial manufacture of sugar-free chocolates — Applicability of alternative sweeteners and carbohydrate polymers as raw materials in product development. *Trends in Food Science and Technology*, 32(2), 84–96. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2013.05.008>
32. Medvedeva, M. I., Nikolaeva, N. V. (2021). Investigation of the possibility of complete replacement of sugar with fructose in the production technology of foamy confectionery *International Journal of Professional Science*, 11, 120–135. https://doi.org/10.54092/25421085_2021_11_120 (In Russian)
33. Ivanchenko, O. B., Danina, M. M. (2019). The use of sweeteners in the technology of bread kvass. *Processes and Food Production Equipment*, 2, 11–18. <https://doi.org/10.17586/2310-1164-2019-12-2-11-18> (In Russian)
34. Mixtures of monosaccharides — glucose-fructose syrups. Retrieved from <http://saharmag.com/fix/sahara/hfs/> Accessed January 26, 2022. (In Russian)
35. Paulino, B. N., Molina, G., Pastore, G. M., Bicas, J. L. (2021). Current perspectives in the biotechnological production of sweetening syrups and polyols. *Current Opinion in Food Science*, 41, 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2021.02.004>
36. Parker, K., Salas, M., Nwosu, V. C. (2010). High fructose corn syrup: Production, uses and public health concerns. *Biotechnology and Molecular Biology Reviews*, 5(5), 71–78.
37. Singh, I., Langyan, S., Yadava, P. (2014). Sweet corn and corn-based sweeteners. *Sugar Tech*, 16(2), 144–149. <https://doi.org/10.1007/s12355-014-0305-6>
38. Zargaraan A., Kamaliroosta, L., Yaghoubi A. S., Mirmoghtadaie, L. (2016). Effect of substitution of sugar by high fructose corn syrup on the physicochemical properties of bakery and dairy products: A review. *Nutrition and Food Sciences Research*, 3(4), 3–11. <https://doi.org/10.18869/acadpub.nfsr.3.4.3>
39. Khorshidian, N., Shadnoush, M., Zabihzadeh Khajavi, M., Sohravandi, S., Yousefi, M., Mortazavian, A. M. (2021). Fructose and high fructose corn syrup: are they a two-edged sword? *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 72(5), 592–614. <https://doi.org/10.1080/09637486.2020.1862068>
40. Ershadi, A., Azizi, M. H., Najafian, L. (2021). Incorporation of high fructose corn syrup with different fructose levels into biscuit: An assessment of physicochemical and textural properties. *Food Science and Nutrition*, 9(10), 5344–5351. <https://doi.org/10.1002/fsn3.2452>
41. Helstad, S. (2019). Corn Sweeteners. Chapter in a book: *Corn* (Third Edition). Chemistry and Technology. Woodhead Publishing and AAC International Press, 2019. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-811971-6.00020-6>
42. Lukin, N. D., Seregin, S. N., Ten, A. D., Syisoev, G. V. (2021). Diversification of the economy of the starch-packing industry based on deep processing of starch-containing raw materials. *Economy, Labor, Management in Agriculture*, 8(77), 78–97. <https://doi.org/10.33938/218-78> (In Russian)
43. Analysis of the Russian market of glucose-fructose syrups, 2021. Retrieved from <http://www.centripap.ru/report/food/Soy/gfs/> Accessed February 15, 2022. (In Russian)
44. ICARUS: results of the year-2021. Sugar and beets Retrieved from <http://ikar.ru/lenta/757.html> Accessed February 18, 2022. (In Russian)
45. Starovoitova, O. V., Mukhametzyanova, E. Yu., Reshetnik, O. A. (2017). Glucose-fructose syrup in the production of flour confectionery. *Bulletin of the Technological University*, 20(22), 131–134. (In Russian)
46. Gnezdilova, A. I., Muzykantova, A. V., Vinogradova, Y. V. (2017). Sweet concentrated milk product. *Molochnokhozaystvenny Vestnik*, 1(25), 84–90. (In Russian)
47. Kolobaeva, A. A., Kotik, O. O., Korolkova, N. V., Butova, S. V. (2017). Development of dietary kvass production process. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*, 3(54), 151–157. <https://doi.org/10.17238/issn2071-2243.2017.3.151> (In Russian)
48. Landikhovskaya, A. V., Tvorogova, A. A., Kazakova, N. V. (2021). The use of glucose-fructose syrups in ice cream without sucrose with the low contents of fat. *Food Industry*, 5, 71–74. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.5.5.017> (In Russian)
49. Kamenskaia, E. P., Obrezkova, M. V. (2017). The use of fructose-glucose syrup from tubers of Jerusalem artichoke in the production technology of kvass. *Technology and Merchandising of the Innovative Foodstuff*, 1(42), 32–37. (In Russian)
50. Kamenskaya, E. P., Vagner, V. A., Kamaeva, S. I. (2020). Investigation of the joint development of probiotics and brewer's yeast in the technology of bread kvass with fructose-glucose syrup. *Polzunovskiy Vestnik*, 1, 78–84. <https://doi.org/10.25712/ASTU.2072-8921.2020.01.016> (In Russian)
51. White, J. S., Hobbs, L. J., Fernandez, S. (2015). Fructose content and composition of commercial HFCS-sweetened carbonated beverages. *International Journal of Obesity*, 39(1), 176–182. <https://doi.org/10.1038/ijo.2014.73>
52. Lee, E. V., Sukanek, G. M., Sokolova, O. S. (2017). Production of fructose syrup from Jerusalem artichoke by acid method. *Agrarian Russia*, 2, 25–28. (In Russian)
53. Singh, R. S., Chauhan, K., Singh, R. P. (2017). Enzymatic Approaches for the Synthesis of High Fructose Syrup. Chapter in a book: *Plant Biotechnology: Recent Advancements and Developments*. Springer Nature Singapore Pte Ltd., 2017. https://doi.org/10.1007/978-981-10-4732-9_10
54. Johnson, R., Padmaja, G., Moorthy, S. N. (2009). Comparative production of glucose and high fructose syrup from cassava and sweet potato roots by direct conversion techniques. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 10(4), 616–620. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2009.04.001>
55. Yulistiani, F., Saripudin, Maulani, L., Ramdhayani, W. S., Wibisono, W., Permanasari, A. R. (2018). Fructose syrup production from tapioca solid waste (onggok) by using enzymatic hydrolysis in various pH and isomerization process. Journal of physics: conference series. The 3rd international conference of chemical and materials engineering. 1295(1), Article 012032. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1295/1/012032>
56. Qi, X., Tester, R. F. (2020). Lactose, maltose, and sucrose in health and disease. *Molecular Nutrition and Food Research*, 64(8), Article 1901082 <https://doi.org/10.1002/mnfr.20191082>
57. Ozuna, C., Franco-Robles, E. (2022). Agave syrup: An alternative to conventional sweeteners? A review of its current technological applications and health effects. *LWT*, 162, Article 113434. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113434>
58. Puchkova, T. S., Pikhalo, D. M., Karasyova, O. M. (2019). About the universal technology of processing Jerusalem artichoke and chicory for inulin. *Food Systems*, 2(2), 36–43. <https://doi.org/10.21523/2618-9771-2019-2-2-36-43>
59. Singh, R. S., Singh, T., Larroche, C. (2019). Biotechnological applications of inulin-rich feedstocks. *Bioresource Technology*, 273, 641–653. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.11.051>
60. Filatov, S. L., Mikhaylichenko, M. S., Petrov, S. M., Podgornova, N. M. (2021). Natural Jerusalem artichoke syrups with prebiotic properties. *Food Industry*, 11, 15–21. <https://doi.org/10.52653/PPI.2021.11.11.005> (In Russian)
61. Nadezhkina, M. S., Sagina, O. A. (2020). Inulin: properties, application. The global inulin market. *Modern Science*, 1–2, 76–80. (In Russian)
62. Gupta, N., Jangid, A. K., Pooja, D., Kulhari, H. (2019). Inulin: A novel and stretchy polysaccharide tool for biomedical and nutritional applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 132, 852–863. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.03.188>
63. Ni, D., Xu, W., Zhu, Y., Zhang, W., Zhang, T., Guang, C. et al. (2019). Inulin and its enzymatic production by inulosucrase: Characteristics, structural features, molecular modifications and applications. *Biotechnology Advances*, 37(2), 306–318. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2019.01.002>
64. Zhu, P., Zeng, Y., Chen, P., Men, Y., Yang, J., Yue, X. et al. (2020). A one-pot two-enzyme system on the production of high value-added D-allulose from Jerusalem artichoke tubers. *Process Biochemistry*, 88, 90–96. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2019.10.006>
65. Zacharová, M., Burešová, I., Gál, R., Walachová, D. (2018). Chicory syrup as a substitution of sugar in fine pastry. *Potravinárstvo Slovak Journal of Food Sciences*, 12(1), 487–490. <https://doi.org/10.5219/890>
66. Ozuna, C., Trueba-Vázquez, E., Moraga, G., Llorca, E., Hernando, I. (2020). Agave syrup as an alternative to sucrose in muffins: Impacts on rheological, microstructural, physical, and sensorial properties. *Foods*, 9, Article 35. <https://doi.org/10.3390/foods9070895>
67. Zamora-Gasga, V. M., Bello-Pérez, L. A., Ortíz-Basurto, R. I., Tovar, J., Sáyago-Ayerdi, S. G. (2014). Granola bars prepared with Agave tequilana ingredients: Chemical composition and invitro starch hydrolysis. *LWT — Food Science and Technology*, 56(2), 309–314. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2013.12.016>
68. Seremet, D., Mandura, A., Cebin, A. V., Martinić, A., Galić, K., Komes, D. (2020). Challenges in confectionery industry: Development and storage stability of innovative white tea-based candies. *Journal of Food Science*, 85, 2060–2068. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.15306>
69. Čižauskaitė, U., Jakubaitytė, G., Žitkevičius, V., Kasparavičienė, G. (2019). Natural ingredients-based gummy bear composition designed according to texture analysis and sensory evaluation in vivo. *Molecules*, 24(7), Article 1442. <https://doi.org/10.3390/molecules24071442>
70. Belščak-Cvitanović, A., Komes, D., Dujmović, M., Karlović, S., Biškić, M., Brnčić, M. et al. (2015). Physical, bioactive and sensory quality parameters of reduced sugar chocolates formulated with natural sweeteners as sucrose alternatives. *Food Chemistry*, 167, 61–70. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2014.06.064>
71. Romanyuk, T. I., Chusova, A. E., Tararykov, M. P., Matvienko, N. A. (2021). Preparation of glucose-fructose syrup from yacon. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 85(2(88)), 87–92. <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-2-87-92> (In Russian)
72. Golubeva, L. V., Pozhidaeva, E. A. (2019). Functional and technological properties of sorghum syrup and its use in ice cream technology. *Food Processing: Techniques and Technology*, 49(3), 431–437. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-3-431-437> (In Russian)
73. Mamaeva, L., Yerbulekova, M., Askarbekov, E., Ashimova, P., Muratbekova, K. (2020). Intensification of fermentation process using natural sweeteners. *Journal of Hygienic Engineering and Design*, 30, 137–141.
74. Permanasari, A. R., Yulistiani, F., Djenar, N. S. (2017). Liquid sugar production from red sorghum starch as raw material to produce high fruc-

- tose syrup (HFS). *Advanced Science Letters*, 23(6), 5775–5779. <https://doi.org/10.1166/asl.2017.8829>
75. Coronati, M., Baratta, F., Pastori, D., Ferro, D., Angelico, F., Del Ben, M. (2022). Added fructose in non-alcoholic fatty liver disease and in metabolic syndrome: A narrative review. *Nutrients*, 14(6), Article1127. <https://doi.org/10.3390/nu14061127>
76. Tahmassebi, J. F., BaniHani, A. (2020). Impact of soft drinks to health and economy: a critical review. *European Archives of Paediatric Dentistry*, 21(1), 109–117. <https://doi.org/10.1007/s40368-019-00458-0>
77. Oganesyants, L. A., Panasyuk A. L., Reitblat B. B. (2011). Theory and practice of fruit winemaking. Moscow: Development, 2011. (In Russian)
78. Ofoedu, C. E., Osuji, C. M., Ojukwu, M. (2019). Sugar profile of syrups from malted and unmalted rice of different varieties. *Journal of Food Research*, 8(1), 52–59. <https://doi.org/10.5539/jfr.v8n1p52>
79. Masood, S., Ashraf, M., Ahmad, I., Nisa, A. Un. (2022). Replacement of table sugar with clarified rice syrup in beverages. *Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research*, 57(1), 23–26. <https://doi.org/10.3329/bjsir.v57i1.58897>

| СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ | AUTHOR INFORMATION |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Принадлежность к организации | Affiliation |
| <p>Кузьмина Елена Ивановна — кандидат технических наук, заведующая лабораторией технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности Адрес: 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7-499-246-62-75 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7623-440X</p> | <p>Elena I. Kuzmina, Candidate of Technical Sciences, Head of the Laboratory of Technology of Grape and Fruit Wines, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo Str., Moscow, Russia, 119021 Tel.: +7-499-246-62-75 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7623-440X</p> |
| <p>Егорова Олеся Сергеевна — научный сотрудник, лаборатория технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности Адрес: 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0463-605X * автор для контактов</p> | <p>Olesya S. Egorova, Researcher, Laboratory of Technology of Grape and Fruit Wines, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo Str., Moscow, Russia, 119021 Tel.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0463-605X * corresponding author</p> |
| <p>Акбулатова Дилара Рамилевна — младший научный сотрудник, лаборатория технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности Адрес: 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2209-7141</p> | <p>Dilyara R. Akbulatova, Junior Researcher, Laboratory of Technology of Grape and Fruit Wines, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo Str., Moscow, Russia, 119021 Tel.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2209-7141</p> |
| <p>Свиридов Дмитрий Александрович — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, лаборатория технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности Адрес: 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8367-3523</p> | <p>Dmitriy A. Sviridov, Candidate of Technical Sciences, Research Senior, Laboratory of Technology of Grape and Fruit Wines, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo Str., Moscow, Russia, 119021 Tel.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8367-3523</p> |
| <p>Ганин Михаил Юрьевич — младший научный сотрудник, лаборатория технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности Адрес: 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0518-1181</p> | <p>Mikhail Yu. Ganin, Junior Researcher, Laboratory of Technology of Grape and Fruit Wines, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo Str., Moscow, Russia, 119021 Tel.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0518-1181</p> |
| <p>Шилкин Алексей Александрович — младший научный сотрудник, лаборатория технологии виноградных и плодовых вин, Всероссийский научно-исследовательский институт пивоваренной, безалкогольной и винодельческой промышленности Адрес: 119021, г. Москва, ул. Россолимо, д. 7 Тел.: +7-499-246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1223-0703</p> | <p>Aleksey A. Shilkin, Junior Researcher, Laboratory of Technology of Grape and Fruit Wines, All-Russian Scientific Research Institute of Brewing, Beverage and Wine Industry 7, Rossolimo Str., Moscow, Russia, 119021 Tel.: +7-499246-63-10 E-mail: labvin@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1223-0703</p> |
| Критерии авторства | Contribution |
| Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат. | Authors equally relevant to the writing of the manuscript, and equally responsible for plagiarism. |
| Конфликт интересов | Conflict of interest |
| Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. | The authors declare no conflict of interest. |