

<https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-616-629>
УДК 631.1:543.635.252

Оригинальная статья
<http://fppt.ru>

Исследование и разработка технологии получения мальтодекстринов для молочной промышленности

А. М. Федорова^{1,*}, О. В. Козлова¹, А. А. Славянский²,
Н. С. Величкович¹, В. М. Ле¹



¹ Кемеровский государственный университет , Кемерово, Россия

² Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ИТКУ) , Москва, Россия

Дата поступления в редакцию: 04.08.2020
Дата принятия в печать: 25.12.2020

*e-mail: anastasija.fedorova-af2014@yandex.ru



© А. М. Федорова, О. В. Козлова, А. А. Славянский, Н. С. Величкович, В. М. Ле, 2020

Аннотация.

Введение. Мальтодекстрины являются распространенной пищевой добавкой, состоящих из D-глюкозных единиц, соединенных (1–4) глюкозидной связью. Целью исследования является улучшение существующей технологии получения мальтодекстринов на основе картофельного и кукурузного крахмала.

Объекты и методы исследования. В данной работе мальтодекстрины получали путем ферментативного и кислотного неполного гидролиза картофельного и кукурузного крахмала. При ферментном гидролизе использовались препараты Амилолюкс АТС и Глюколюкс А, при кислотном – серная кислота. Готовый продукт получали с помощью распылительного высушивания. Органолептические свойства готового продукта определялись стандартными методами. Для установления углеводородного состава использовали метод высокоэффективной жидкостной хроматографии. Для определения восстанавливающей способности сахаров использовался метод декстрозного эквивалента.

Результаты и их обсуждение. В ходе исследования улучшена технология проведения ферментного расщепления крахмала. Выбран ферментный препарат Амилолюкс АТС и его концентрация – 0,5 мл/50 см³. Амилолитическая активность препарата составила 2330,50 ед/мл, температура гидролиза – 65 ± 2 °С, водородный показатель реакции – рН 6,5. Также подобраны оптимальные параметры для высушивания гидролизатов крахмала. Выбран метод распылительного высушивания (температура сушки и потока воздуха составила 100 °С, скорость подачи раствора равна 12 мл/мин). Для готового продукта установлен декстрозный эквивалент (12–13 %) и количественное содержание сахаров в полученных образцах. Для мальтодекстринов, полученных из картофельного крахмала, содержание мальтозы и глюкозы составило соответственно 16,73 ± 0,25 % и 12,48 ± 0,050 %, из кукурузного – 40,22 ± 0,30 % и 52,93 ± 0,040 %.

Выводы. Улучшенная в данной работе технология позволяет получить мальтодекстрины, применимые в молочной промышленности.

Ключевые слова. Декстрины, крахмал, гидролиз, высушивание, хроматография

Финансирование. Работа выполнена в рамках гранта Президента РФ Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (Минобрнауки России)  при государственной поддержке ведущих научных школ (НШ-2694.2020.4).

Для цитирования: Исследование и разработка технологии получения мальтодекстринов для молочной промышленности / А. М. Федорова, О. В. Козлова, А. А. Славянский [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2020. – Т. 50, № 4. – С. 616–629. <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-616-629>.

Original article

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

Research and Development of Maltodextrin Production Technology for the Dairy Industry

Anastasia M. Fedorova^{1,*}, Oksana V. Kozlova¹, Anatoliy A. Slavyanskiy²,
Natalia S. Velichkovich¹, Violeta M. Le¹

¹ Kemerovo State University , Kemerovo, Russia

Received: August 04, 2020

Accepted: December 25, 2020

*e-mail: anastasija.fedorova-af2014@yandex.ru



© A.M. Fedorova, O.V. Kozlova, A.A. Slavyanskiy, N.S. Velichkovich, V.M. Le, 2020

Abstract.

Introduction. Maltodextrins are a common dietary supplement with a number of positive properties. They consist of D-glucose units connected by a (1–4) glucoside bond. The research objective was to improve the existing technology of maltodextrin production based on potato and corn starch.

Study objects and methods. Maltodextrins were obtained by enzymatic and acidic incomplete hydrolysis of potato and corn starch. Amilolux ATS and Glucolux A were used for enzyme hydrolysis, and sulfuric acid was used for acid hydrolysis. The finished product was obtained by spray drying. The sensory properties of the finished product were determined by standard methods. The method of high-performance liquid chromatography defined the hydrocarbon composition, while the method of dextrose equivalent helped to determine the reducing capacity of sugars.

Results and discussions. The study improved the technique of the enzymatic breakdown of starch. Amylolysis ATS proved to be the optimal enzyme preparation in concentration of 0.5 mL/50 cm³. Other optimal parameters included the starch-splitting activity of 2,330.50 u/mL, temperature of hydrolysis of 65 ± 2°C, and pH reactions of pH 6.5. The method of spray drying proved most efficient for drying starch hydrolysates: the drying temperature and air flow was 100°C, while the flow rate of the solution was 12 mL/min). The experiment also established the dextrose equivalent of the finished product (12–13%) and the quantitative content of sugars in the obtained samples. For maltodextrins obtained from potato starch, the content of maltose and glucose was 16.73 ± 0.25% and 12.48 ± 0.050%, respectively; for corn maltodextrins – 40.22 ± 0.30% and 52.93 ± 0.040%.

Conclusion. The market for food additives is developing rapidly. Maltodextrin is a natural food additive that can be used in various branches of food industry. The research made it possible to improve the technology of maltodextrin production in t dairy industry.

Keywords. Dextrins, starch, hydrolysis, drying, chromatography

Funding. The research was funded by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (Minobrnauka)  as grant of the President of the Russian Federation and the state support program for leading scientific schools (NSH-2694.2020.4).

For citation: Fedorova AM, Kozlova OV, Slavyanskiy AA, Velichkovich NS, Le VM. Research and Development of Maltodextrin Production Technology for the Dairy Industry. Food Processing: Techniques and Technology. 2020;50(4):616–629. (In Russ.). <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2020-4-616-629>.

Введение

На сегодняшний день рынок пищевых ингредиентов представлен широким ассортиментом пищевых добавок. Их используют в пищевом производстве для:

- улучшения технологического процесса производства;
- улучшения внешнего вида (красители, стабилизаторы, фиксаторы окраски);
- регулирования вкуса (подсластители, улучшители вкуса и аромата, регуляторы кислотности, ароматизаторы);
- регулирования консистенции (загустители, гелеобразователи, стабилизаторы, эмульгаторы, разжижители, пенообразователи);
- увеличения сроков годности продуктов (консерванты, антиоксиданты, влагоудерживающие агенты, пленкообразователи) [1].

Некоторые пищевые добавки выполняют комплексные технологические функции. Именно к таким пищевым добавкам относится мальтодекстрины. Их используют в качестве подсластителя, сахарозаменителя, эмульгатора, стабилизатора и влагоудерживающего агента [2].

Мальтодекстрины являются продуктами неполного ферментативного и кислотного гидролиза крахмала, характеризуются значением декстрозного эквивалента (DE) 2–20 %. Представляют собой гомогенную смесь сахаридов широкого спектра молекулярных масс [3]. Эквивалент декстрозы является основным параметром, который характеризует реологические (изменение структуры продукта) и функциональные (увеличение интенсивности и сладости вкуса продукта, торможение процесса кристаллизации сахара и др.) свойства мальтодекстринов [4]. Мальтодекстрины с одними и теми же значениями DE могут проявлять различные физико-химические свойства, зависящие от ботанического происхождения крахмалов и параметров неполного ферментативного и кислотного гидролиза.

При ферментном гидролизе крахмала используются ферментные препараты класса гидролаз, подкласса карбогидраз, которые называются амилазами: α-амилаза и β-амилаза [5]. В качестве реагента для проведения кислотного гидролиза крахмала используются минеральные кислоты (серная или соляная кислота). Под

действием фермента или кислоты ассоциативные связи крахмала между макромолекулами амилозы и амилопектина ослабляются и разрываются. Затем разрываются α -(1→4) и α -(1→6)-гликозидные связи и на месте разрыва присоединяется молекула воды [6]. Кислотный гидролиз крахмала имеет множество недостатков. Одним из них является применение высоких концентраций кислот и высокой температуры (более 100 °С), приводящие к термической деградации и дегидротации сахаров. Так, в сравнении с кислотами, использование ферментов в производственном процессе является безопасным, т. к. образуется меньше побочных продуктов и поэтому качество изготавливаемого продукта становится выше. Благодаря специфичности действия ферментных препаратов гидролиз позволяет получить продукт с определенными физическими свойствами (например, сладостью). Следовательно, перспективно использовать ферментные препараты [7].

Так в работе N. P. Cuong и др. проведено исследование, в котором описывается непрерывное производство чистого мальтотекстрина, полученного ферментным гидролизом при использовании амилазы *Pyrococcus furiosus* [8]. Данная амилаза входит в группу амилолитических ферментов, имеет характеристики как циклодекстрин-гидролизующего фермента, так и α -амилазы. В исследованиях, проводимых M. K. Lam с соавторами, в качестве исходного сырья для получения мальтодекстринов применялся отход производства липидов – биомасса микроводорослей [9]. В качестве ферментных препаратов использовались: фермент α -амилаза из *Aspergillus oryzae* и фермент амилоглюкозидаза из *Aspergillus niger*. В 2017 г. В. В. Ананским и его коллегами была разработана технология получения мальтодекстрина, предусматривающая использование в качестве катализатора при ферментном гидролизе крахмала кукурузной муки ферментного препарата α -амилазы «Liquozyme Supra 2,8X» [10].

Так как мальтодекстрин имеет внешний вид однородного сыпучего порошка, то существует несколько методов высушивания гидролизатов. Например, распылительный и сублимационный (лиофильный).

Распылительная сушка используется для производства сухих продуктов благодаря быстрому удалению влаги из распыленных капель продукта горячим воздухом, нагретого до температур 100–300 °С, с последующей сепарацией твердых частиц [11]. Из литературных источников известно, что важнейшими технологическими параметрами распылительной сушки являются температура, скорость подачи раствора в установку и скорость потока воздуха [12]. Также на процесс оказывают влияние свойства самого материала: способность поглощать влагу, текучесть и др. В сравнении с

другими способами высушивание распылением имеет существенные преимущества. В первую очередь это продолжительность процесса, которая не превышает 3 часов и обеспечивает получение готового продукта высокого качества. Кроме того, преимуществом распылительной сушки является высокий выход продукта при минимальных затратах энергии и времени. Однако высокая температура процесса значительно снижает количество компонентов смеси, чувствительных к нагреванию (например, витаминов).

Процесс сублимационной сушки состоит из трех основных этапов: замораживание, сублимация, досушивание [13]. Процесс сублимации находится в прямой зависимости от продолжительности замораживания и температуры материала на выходе. Важным параметром сублимационной сушки является присутствие определенного количества сухих веществ (минимальное количество 25–30 %) [11]. Из-за своей дороговизны и затрат времени сублимационная сушка не находит широкое применение в молочном секторе, но используется для отдельных пищевых продуктов: пробиотиков и заквасок [11].

Мальтодекстрины обладают свойствами наполнения, структурирования, эмульгирования и стабилизации, а также способны впитывать специфический вкус молока и продлевать срок его хранения [15–17]. Благодаря таким свойствам мальтодекстрины нашли широкое применение в молочной промышленности при изготовлении следующих молочных продуктов [18]:

- мороженого порошка (10–25 %) для улучшения структуры, вкуса и эмульгирования;
- молочного сахара (6–8 %) для предотвращения кристаллизации продукции;
- сухого детского молока (9–11 %) в качестве эмульгатора;
- кисломолочных продуктов (5–7 %).

В работах Л. А. Забодало и его коллег проведено исследование по разработке комплексного состава углеводно-белкового кисломолочного напитка, в состав которого входит мальтодекстрины с декстрозным значением 11–12 %, витамины и пробиотические культуры бифидобактерий [19]. Данный кисломолочный продукт направлен для питания лиц, которые подвержены физическим нагрузкам. Существует исследование, посвященное изготовлению концентрированного молокосо-державшего продукта на основе мальтодекстрина, который используется в качестве частичной замены сахарного песка [20]. Это позволяет понизить уровень сахара в конечном продукте и улучшить его структуру и органолептические свойства.

В работе А. К. М. Chandrapala и др. сообщалось о влиянии соотношения лактозы и мальтодекстрина

на характеристики эмульсий молочных смесей и их свежеприготовленных порошков при хранении при двух температурах (22 и 40 °С) и трех уровнях относительной влажности воздуха (11, 23, 54 %) в течение нескольких месяцев [21, 22]. Понимание физико-химических изменений в порошках молочных смесей при хранении под влиянием соотношения лактозы и мальтодекстрина имеет практическое значение для пищевой промышленности. Порошок молочной смеси, который не содержал мальтодекстрина, образовал твердую лепешку после 60-дневного хранения. Порошки молочной смеси, содержащие 15 % и 30 % мальтодекстрина, не спекались и образовывали слабые агломераты, которые возвращались обратно к отдельным частицам после мягкого давления пальца. Содержание влаги во всех трех порошках еще больше уменьшилось после 90-дневного хранения, а также все порошки были спекшимися на этой стадии [23]. Мальтодекстрин с DE 20 % имеет высокую среднюю молекулярную массу, по сравнению с лактозой (342,3 г моль⁻¹), и его присутствие увеличивает значения температуры стеклования в порошках молочных смеси. При обеих температурах хранения температура стеклования оставался неизменной в течение всего периода хранения для всех порошков, хранящихся при относительной влажности воздуха 11 %, в то время как медленное и постепенное снижение температуры стеклования происходило в порошках, уравновешенных при относительной влажности воздуха 23 %. При относительной влажности воздуха 11 % и 23 % содержание влаги в порошке было низким, что является причиной относительно высокого уровня температуры [24].

Е. Zafer и N. Коса использовали мальтодекстрины с DE 20 % и молочную сыворотку для улучшения физических свойств высушенного сырного порошка, а также применяли полученный продукт как заменитель сыра, тем самым снижая затраты на сырье [25].

Мальтодекстрины применяются в качестве текстурирующих агентов и заменителей жира [26]. Также мальтодекстрины используются в производстве обезвоженных продуктов, поскольку они уменьшают их липкость и улучшают прочность [7]. Эти свойства обусловлены водопоглощающей способностью, а также способностью создавать защитный барьер на поверхности абсорбирующих частиц и повышать температуру стеклования [27].

Большое количество работ, направленных на использование мальтодекстринов в молочной промышленности, делает актуальным процесс улучшения и разработки существующих технологий получения данной добавки [28].

Целью исследования является улучшение существующей технологии получения



Рисунок 1. Ферментный гидролиз крахмального клейстера при взаимодействии с раствором йода

Figure 1. Enzymatic hydrolysis of starch paste upon interaction with iodine solution

мальтодекстринов на основе картофельного и кукурузного крахмала.

Объекты и методы исследования

В качестве объектов исследования использовали: картофельный («Скайфуд», Россия) и кукурузный («Проксима», Россия) крахмал.

В данном исследовании для приготовления 1 %-ной картофельной и кукурузной крахмальной суспензии воду очищали на бидистилляторе марки ТУ 25-11.1592-81 БС («Лабинвест», Россия).

Для получения мальтодекстринов из картофельного и кукурузного крахмала при ферментном гидролизе использовали ферментные препараты Амилолюкс АТС и Глюколюкс А («Сиббиофарм», Россия). Активация фермента осуществлялась при нагревании бидистиллированной воды до 60 °С. Концентрация фермента Амилолюкс АТС составила 0,5 мл/50 см³, температура гидролиза 65 ± 2 °С. Концентрация фермента Глюколюкс А была равна 0,5 мл/25 см³, температура гидролиза составила 70 ± 5 °С.

Активированный ферментный препарат Амилолюкс АТС, взятый в количестве 3,3 мл для картофельного и 23,76 мл для кукурузного клейстера, приливали в 396 мл 1 %-ого картофельного и кукурузного крахмального клейстера. Ферментный препарат Глюколюкс А был взят для картофельного клейстера в количестве 36,9 мл, а для кукурузного – 55,35 мл. Все приготовленные суспензии перемешивали и помещали в водяную баню «ЭКРОС ПЭ-4310» («ЭКРОСХИМ», Россия). Процесс ферментного гидролиза контролировался свежеприготовленным 0,1 н раствором йода KI («ЛенРеактив», Россия). По истечении 1 мин отбиралась проба и вносилась в пробирку с раствором йода. Постепенное изменение окраски суспензий при реакции с йодом (синяя – амилоза и амилопектин, сине-фиолетовая – амилодекстрины, краснокирпичная – эритродекстрины, оранжевая



Рисунок 2. Кислотный гидролиз крахмального клейстера при взаимодействии с раствором йода

Figure 2. Acid hydrolysis of starch paste upon interaction with iodine solution

– ахродекстрины, желтая – мальтодекстрины) свидетельствовало о протекании гидролиза. Гидролиз заканчивали, когда крахмальный клейстер приобретал желтую окраску, и отмечали общую продолжительность гидролиза (рис. 1)¹.

Для того чтобы проанализировать исходное количество расщепленного картофельного или кукурузного крахмала после ферментативного гидролиза, проводился анализ на определение амилолитической активности ферментных препаратов Амилолюкс АТС и Глюколюкс А. Амилолитическая активность показывает способность расщепления крахмала до декстринов. Ее определяли спектрофотометрическим методом на спектрофотометре «UV-1800» («Shimadzu», Германия) при длине волны $\lambda = 656$ нм. Для анализа использовали кюветы с толщиной поглощения света 1 см. Бидистиллированная вода являлась контролем. Исходя из количества прогидролизованного крахмала, определялась скорость проведения ферментного гидролиза [29].

Для проведения кислотного гидролиза использовали 10 % серную кислоту H_2SO_4 («Сигма тек», Россия) [29]. Разбавленную серную кислоту вносили в картофельный клейстер (396 мл) в количестве 59,4 мл, а для кукурузного клейстера (396 мл) концентрация серной кислоты была равна 79,2 мл. Приготовленные кислотно-крахмальные клейстеры перемешивали и помещались в водяную баню на 2 ч. Кислотный гидролиз осуществлялся при 95 °С. Каждые 20 мин из колбы брали пробы и вносили в заранее приготовленные пробирки с раствором йода. Также отмечалась общая продолжительность кислотного гидролиза (рис. 2). После кислотного гидролиза необходимо нейтрализовать серную кислоту путем добавления $CaCO_3$ («Альфа-климат»,

Россия) до pH 4,5–4,6. После нейтрализации получившийся осадок ($CaSO_4$) убирали на центрифуге («Centrifuge 5430», Россия). Основную массу нерастворимых компонентов в гидролизатах составляют жирно-белковые примеси (0,3–1 %). Они денатурируются и подвергаются пептизации после действия кислоты и высокой температуры. Для их удаления после нейтрализации гидролизаты подвергались фильтрованию через бумажные фильтры «Синяя лента» (Сартогосм, Россия) с размерами пор 2–3 мкм с использованием активированного угля («Медисорб», Россия). Активированный уголь применялся в качестве адсорбента для обесцвечивания и удаления запаха и примесей. Обесцвечивание происходило путем пропускания растворов гидролизатов через слой угля, нанесенного на фильтровальную бумагу¹.

В данной работе для обезвоживания гидролизатов, полученных при ферментном и кислотном гидролизе картофельного и кукурузного крахмала, рассматривали два способа сушки: распылительный и сублимационный (лиофильный). Для распылительного высушивания использовали распылительную сушилку «Mini Spray Dryer B-290» («Buchi», Швейцария) (рис. 3) [30]. Сушка на данной установке осуществлялась следующим образом: газ, нагретый с помощью микропроцессорной автоматики Fuzzy-logic 2, подавался в корпус сушилки. Одновременно с помощью шлангового насоса поступающий раствор гидролизата в распылительную форсунку 1, из которой впоследствии распылялся раствор на мельчайшие капли в сушильную камеру 3. Поток газа переносил частицы сухого продукта в

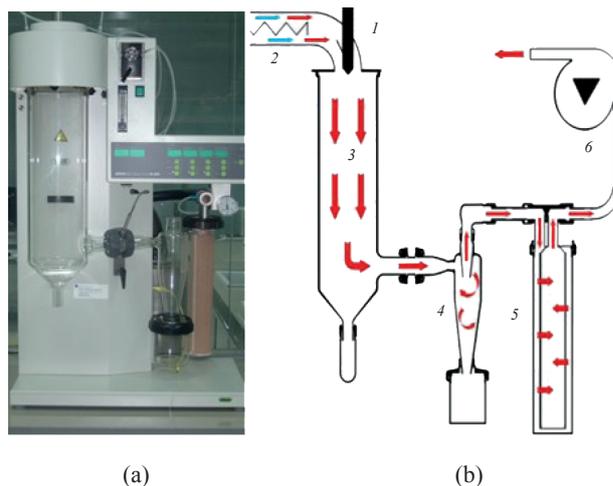


Рисунок 3. Распылительная сушилка: (а) общий вид; (б) схема установки: 1 – распылительная форсунка; 2 – нагреватель Fuzzy-logic; 3 – сушильная камера; 4 – циклон; 5 – выходной фильтр; 6 – потоковый аспиратор

Figure 3. Spray dryer: (a) general view; (b) installation diagram: 1 – spray nozzle; 2 – Fuzzy-logic heater; 3 – drying chamber; 4 – cyclone collector; 5 – output filter; 6 – flow aspirator

¹ ГОСТ Р 50549–93. Продукты гидролиза крахмала. Определение восстанавливающей способности и эквивалента глюкозы. Метод постоянного титра Лейна и Эйнона. – М. : Издательство стандартов, 1993. – 7 с.



Рисунок 4. Сублимационная установка «ИНЕЙ-6М»

Figure 4. INEY-6M freeze-drier

циклон 4, где под действием собственной силы тяжести происходило осаждение сухих частиц. В конструкции распылительной сушилки предусмотрен текстильный выходной фильтр 5, удерживающий мелкие частицы, а также aspirатор 6, создающий поток воздуха во всей установке.

Сублимационное высушивание гидролизатов осуществляли методом лиофилизации с помощью установки «ИНЕЙ-6М» («Биоприбор», Россия) (рис. 4). Принцип сублимационной сушилки заключается в следующем: растворы гидролиза замораживали в течение суток до кристаллообразного состояния. Затем образовавшийся лед переходит в водяной пар, который под действием низковакуумного насоса откачивается из рабочей камеры. Далее образуется конденсация на низкомолекулярном конденсаторе [11].

Из рассмотренных двух методов высушивания гидролизатов сублимационное высушивание не подошло, т. к. количество сухих веществ в полученных гидролизатах составляло всего 1–8 %. Это не соответствует установленным нормам: процентное соотношение сухих веществ для сублимационного высушивания должно составлять не менее 25–30 % [11].

Определение органолептической оценки высушенных образцов мальтодекстринов осуществлялось в соответствии с ГОСТ 34274-2017².

Для полученных образцов мальтодекстринов определялся дектрозный эквивалент (DE), соответствующий методу восстанавливающей способности мальтодекстринов¹.

Массовая доля сахаров определена методом высокоэффективной жидкостной хроматографии

² ГОСТ 34274-2017. Мальтодекстрины. Технические условия. – М. : Стандартинформ, 2019. – 15 с.

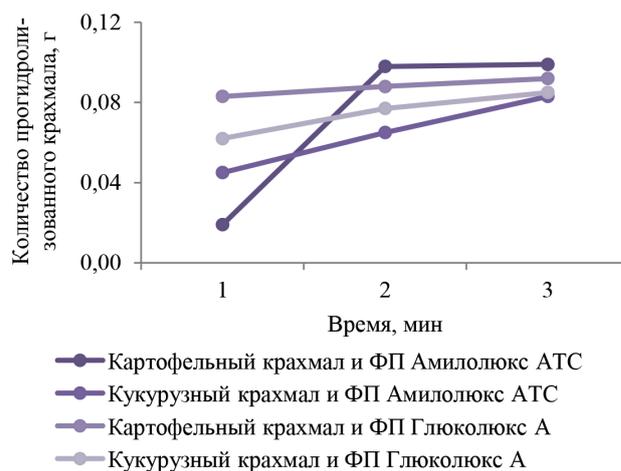


Рисунок 5. Количественное значение прогидролизованного картофельного и кукурузного крахмала

Figure 5. Quantitative value of hydrolyzed potato and corn starch

(ВЭЖХ). Вещества разделены с помощью хроматографа «Shimadzu LC-20» Prominence («Shimadzu», Япония) с спектрофотометрическим детектором «Shimadzu SPD20A» и рефрактометрическим детектором «RID-10A» с колонкой «SHODEX SUGAR SH1821» 8.0 ID×300 mmL. Существующий метод основан на хроматографическом разделении сахаров в полученных образцах мальтодекстрина с последующей регистрацией при использовании рефрактометрического детектора и количественным определением по методу внешних эталонов³. К основным условиям проведения хроматографического анализа относятся: элюент 0,1 N H₂SO₄; температура колонки 50,0 ± 0,1 °C; скорость потока 0,6 мл/мин; объем инъекции 5 мкл. Для количественного определения применялся метод внешних стандартов по площадям пиков испытуемых образцов мальтодекстрина. Для определения качественной оценки сахаров применялся метод сравнения значения времен удерживания исследуемых образцов мальтодекстринов в ВЭЖХ-спектрах³.

Результаты и их обсуждение

В результате серии проведенных экспериментов по ферментному и кислотному гидролизу картофельного и кукурузного крахмала получены несколько образцов мальтодекстринов.

Для ферментных препаратов определены следующие показатели: количество прогидролизованного картофельного и кукурузного крахмала, амилолитическая активность и скорость ферментного гидролиза. Также для высушенных образцов мальтодекстринов проанализированы

³ ГОСТ 32167-2013. Мед. Метод определения сахаров. – М. : Стандартинформ, 2018. – 17 с.

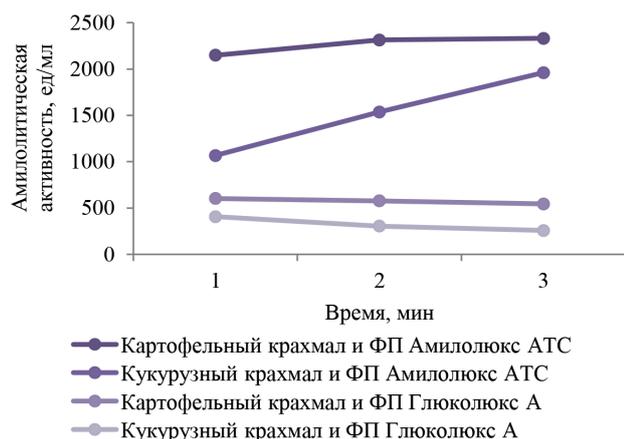


Рисунок 6. Амилолитическая активность ферментных препаратов

Figure 6. Amylolytic activity of enzyme preparations

такие показатели, как органолептическая оценка, DE-значение и массовая доля сахаров, образовавшиеся после ферментного и кислотного гидролиза.

На рисунках 5, 6 и 7 представлены результаты проведения ферментного гидролиза картофельного и кукурузного крахмала при участии ферментных препаратов Амилолюкс АТС и Глюколюкс А.

Из проведенного спектрофотометрического анализа видно, что количество прогидролизованного крахмала с ростом временного значения увеличивается независимо от вида крахмала и ферментного препарата. Активное расщепление осуществлялось при использовании картофельного крахмала и ферментного препарата Амилолюкс АТС.

На рисунке 6 показана зависимость амилолитической активности ферментных препаратов от времени их воздействия на крахмал.

По результатам амилолитической активности можно сделать вывод, что ферментный препарат Амилолюкс АТС является более активным, чем фермент Глюколюкс А, т. к. максимальная амилолитическая активность ферментного препарата Амилолюкс АТС при расщеплении картофельного крахмала составляет 2330,50 ед/мл, а кукурузного крахмала составляет 1960,50 ед/мл в течение 3 минут. Максимальная амилолитическая активность ферментного препарата Глюколюкс А прогидролизованного картофельного крахмала составляет всего 544,58 ед/мл, а кукурузного крахмала равна 257,66 ед/мл в течение такого же времени проведения гидролиза.

На рисунке 7 показана зависимость скорости ферментного гидролиза от времени.

Из полученных результатов видно, что скорость проведения ферментного гидролиза уменьшается пропорционально временному значению. Следо-

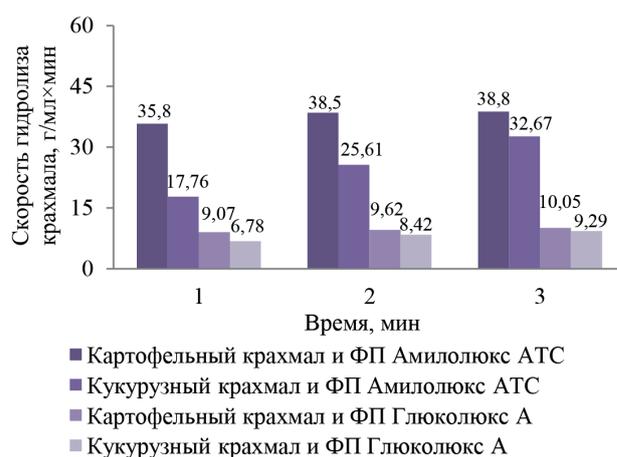


Рисунок 7. Скорость ферментного гидролиза крахмала

Figure 7. Rate of starch enzymatic hydrolysis

вательно, крахмал подвергался поэтапному расщеплению каждую минуту от амилозы и амилопектина до мальтодекстринов. В соответствии с определенными параметрами перспективным ферментным препаратом для проведения ферментного гидролиза крахмала является Амилолюкс АТС.

Исходя из полученных результатов, технология получения мальтодекстринов из картофельного и кукурузного крахмала станет упрощенной благодаря применению ферментного препарата Амилолюкс АТС. В связи с этим проведение дальнейших исследований планируется только с ферментным препаратом Амилолюкс АТС.

Внешний вид всех полученных образцов мальтодекстринов после распылительного высушивания был белого сыпучего порошка, не имеющего постороннего запаха, хорошо растворяющиеся в горячей и холодной воде. Образцы мальтодекстринов, полученные при ферментном и кислотном гидролизе картофельного и кукурузного крахмала, имели сладковатый привкус. Все органолептические показатели полученных образцов соответствовали установленному стандарту (ГОСТ 34274-2017).

Образцы, полученные при ферментном и кислотном гидролизе картофельного крахмала, имели DE 12 %. В образцах, полученных при ферментном и кислотном гидролизе кукурузного крахмала, DE равно 13 %. Из полученного декстрозного значения видно, что коэффициент сладости мальтодекстринов равен 0,1 по отношению к сахару. Коэффициент сладости сахара равен 1 [31]. Также способствуют снижению водопоглотительной способности гидроскопичных компонентов [32]. Следовательно, данные образцы возможно применять в качестве носителя для порошкообразных пищевых ароматизаторов и основы вкусоароматических добавок при изготовлении замороженных соусов и супов, а также в качестве пищевой биологической добавки в молочной промышленности, эмульгатора

Таблица 1. Массовая доля сахаров в полученных образцах мальтодекстрина

Table 1. Mass fraction of sugars in the obtained maltodextrin samples

Образец мальтодекстрина	Вид крахмала	Способ гидролиза крахмала	Массовая доля компонента, %	
			Мальтоза	Глюкоза
Мальтодекстрин № 1	Картофельный	Полный ферментный	23,07 ± 0,10	26,16 ± 0,02
Мальтодекстрин № 2	Картофельный	Ферментный	16,73 ± 0,25	12,48 ± 0,05
Мальтодекстрин № 3	Картофельный	Кислотный	7,97 ± 0,15	2,81 ± 0,03
Мальтодекстрин № 4	Кукурузный	Ферментный	40,22 ± 0,30	52,93 ± 0,04
Мальтодекстрин № 5	Кукурузный	Кислотный	18,43 ± 0,19	27,00 ± 0,01

Таблица 2. Значение времен удерживания сахаров ВЭЖХ-спектрах

Table 2. Time values of sugar retention in HPLC spectra

Образец мальтодекстрина	Вид крахмала	Способ гидролиза крахмала	Время удерживания сахаров, мин	
			Мальтоза	Глюкоза
Мальтодекстрин № 1	Картофельный	Полный ферментный	15,473 ± 0,020	16,773 ± 0,020
Мальтодекстрин № 2	Картофельный	Ферментный	15,731 ± 0,010	16,731 ± 0,050
Мальтодекстрин № 3	Картофельный	Кислотный	15,445 ± 0,030	16,737 ± 0,030
Мальтодекстрин № 4	Кукурузный	Ферментный	15,471 ± 0,050	16,771 ± 0,040
Мальтодекстрин № 5	Кукурузный	Кислотный	15,466 ± 0,040	16,769 ± 0,010

при изготовлении молочных продуктов (например, при изготовлении мороженого порошка и сливок). При этом найдут свое применение в качестве влагопоглотителя при производстве сухого молока. Также полученные образцы мальтодекстринов найдут свое применение в детском питании в качестве подсластителя при изготовлении детских сухих смесей.

Количественное определение сахаров во всех образцах мальтодекстринов, полученных ферментным и кислотным расщеплением картофельного и кукурузного крахмала, представлены в следующих результатах исследований. В таблице 1 приведены значения массовой доли сахаров в образцах мальтодекстрина после ферментного или кислотного гидролиза картофельного и кукурузного крахмала.

В результате проведенных испытаний хороший результат показали образцы «Мальтодекстрин № 2» и «Мальтодекстрин № 3», полученные при проведении

неполного ферментного и кислотного гидролиза картофельного крахмала, т. к. уровень массовой доли сахара мальтозы и глюкозы соответствует норме количества сахара содержащихся в мальтодекстринов (ГОСТ 32167-2013). Образцы «Мальтодекстрин № 4» и «Мальтодекстрин № 5», полученные при неполном ферментном и кислотном расщеплении кукурузного крахмала, расщепились до глюкозы, т. е. можно говорить о том, что гидролиз прошел полностью.

Одновременно при количественном определении сахаров осуществлялась и качественная оценка путем сравнения значений времен удерживания в ВЭЖХ-секторах стандартного раствора. Осуществлена идентификация полученных растворов мальтодекстринов. Значение времен удерживания образовавшихся сахаров в полученных образцах мальтодекстринов представлены в таблице 2.

На рисунках 8–12 представлены хроматограммы образцов высокоэффективной жидкостной хроматографии картофельного и кукурузного

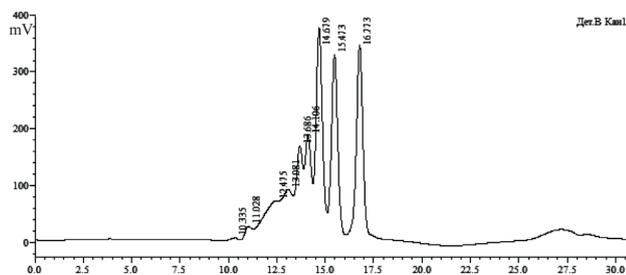


Рисунок 8. ВЭЖХ хроматограмма образца картофельного крахмала после полного ферментного гидролиза

Figure 8. HPLC chromatogram of a potato starch sample after complete enzymatic hydrolysis

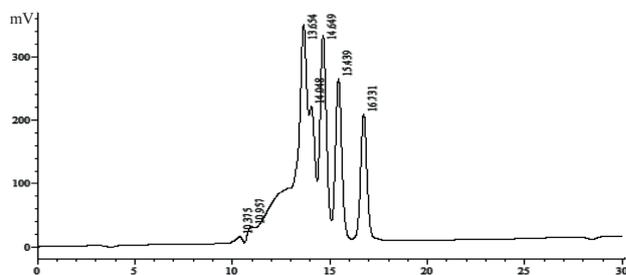


Рисунок 9. ВЭЖХ хроматограмма образца картофельного крахмала после неполного ферментного гидролиза

Figure 9. HPLC chromatogram of a potato starch sample after incomplete enzymatic hydrolysis

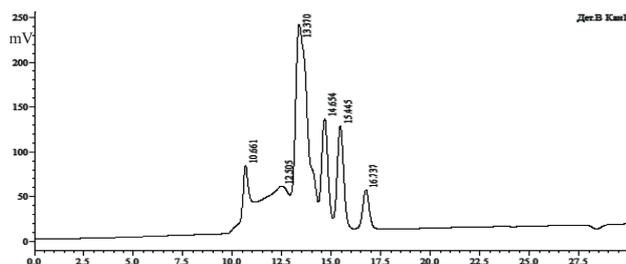


Рисунок 10. ВЭЖХ хроматограмма образца картофельного крахмала после неполного кислотного гидролиза

Figure 10. HPLC chromatogram of a potato starch sample after incomplete acid hydrolysis

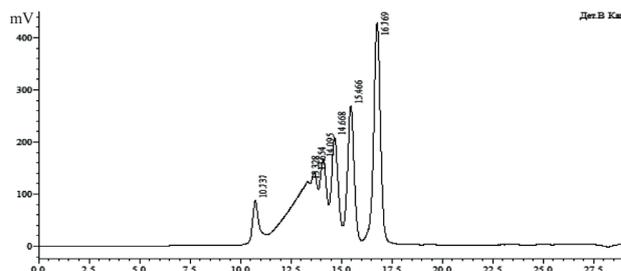


Рисунок 12. ВЭЖХ хроматограмма образца кукурузного крахмала после неполного кислотного гидролиза

Figure 12. HPLC chromatogram of a corn starch sample after incomplete acid hydrolysis

крахмала после ферментного и кислотного гидролиза. Данные хроматограммы подтверждают количественный выход сахаров.

Качественный анализ высокоэффективной жидкостной хроматографии (рис. 8) показал, что картофельный крахмал при полном ферментном гидролизе расщепился полностью, а именно до остатков глюкозы и редуцирующих сахаров мальтозы, что подтверждают результаты анализа хроматографии. Количество молекул глюкозы ($26,16 \pm 0,02$ %) превышает количество молекул мальтозы ($23,07 \pm 0,10$ %), что соответствует массовой доли сахаров в полученных образцах мальтодекстринов (табл. 1).

При исследовании ферментного и кислотного гидролиза картофельного крахмала (рис. 9 и 10) анализ ВЭЖХ показал, что пик выхода мальтозы происходит выше пика выхода глюкозы. То есть количество молекул мальтозы ($16,73 \pm 0,25$ % – при ферментном неполном гидролизе, $7,97 \pm 0,15$ % – при кислотном неполном гидролизе) больше, чем количество молекул глюкозы ($12,48 \pm 0,05$ % – при ферментном неполном гидролизе, $2,81 \pm 0,03$ % – при кислотном неполном гидролизе) (табл. 1).

Если рассмотреть ферментный и кислотный гидролиз кукурузного крахмала (рис. 11 и 12), то результаты ВЭЖХ показали, что пик выхода

мальтозы находится ниже пика выхода глюкозы. То есть количество молекул мальтозы ($40,22 \pm 0,30$ % – при ферментном неполном гидролизе, $18,43 \pm 0,19$ % – при кислотном неполном гидролизе) меньше, чем количество молекул глюкозы ($52,93 \pm 0,04$ % – при ферментном неполном гидролизе, $27,00 \pm 0,01$ % – при кислотном неполном гидролизе) (табл. 1).

В процессе проведения исследований были рассмотрены две технологии получения мальтодекстринов из картофельного и кукурузного крахмала. Одна из них представляет улучшенный технологический процесс получения мальтодекстрина путем ферментного гидролиза картофельного и кукурузного крахмала, применяя ферментный препарат Амилолюкс АТС. Другая технологическая схема рассматривает получения мальтодекстринов путем кислотного гидролиза картофельного и кукурузного крахмала.

Технология, главной технологической стадией которой является ферментный и кислотный гидролиз крахмала, включала в себя следующие операции:

1. Приготовление 1 %-ой суспензии картофельного и кукурузного крахмала;

2. Проведение неполного ферментативного и кислотного гидролиза картофельного и кукурузного крахмала:

– при ферментативном гидролизе использован ферментный препарат Амилолюкс АТС;

– при проведении кислотного гидролиза взята 10 % серная кислота;

3. Нейтрализация серной кислоты путем добавления CaCO_3 до pH 4,5–4,6;

4. Центрифугирование. Получившийся осадок (CaSO_4) после нейтрализации убирался путем центрифугирования в течение 15 мин при 7083 об/мин;

5. Очистка гидролизатов от жира-белковых примесей методом фильтрования гидролизатов;

6. Распылительное высушивание гидролизатов. Критериями подбора параметров являлись массовая доля влаги в образце (не более 5 %) и выход продукта (не менее 80 %). За минимально допустимое

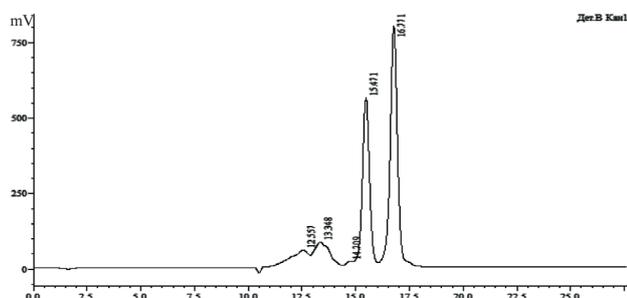


Рисунок 11. ВЭЖХ хроматограмма образца кукурузного крахмала после неполного ферментного гидролиза

Figure 11. HPLC chromatogram of a corn starch sample after incomplete enzymatic hydrolysis

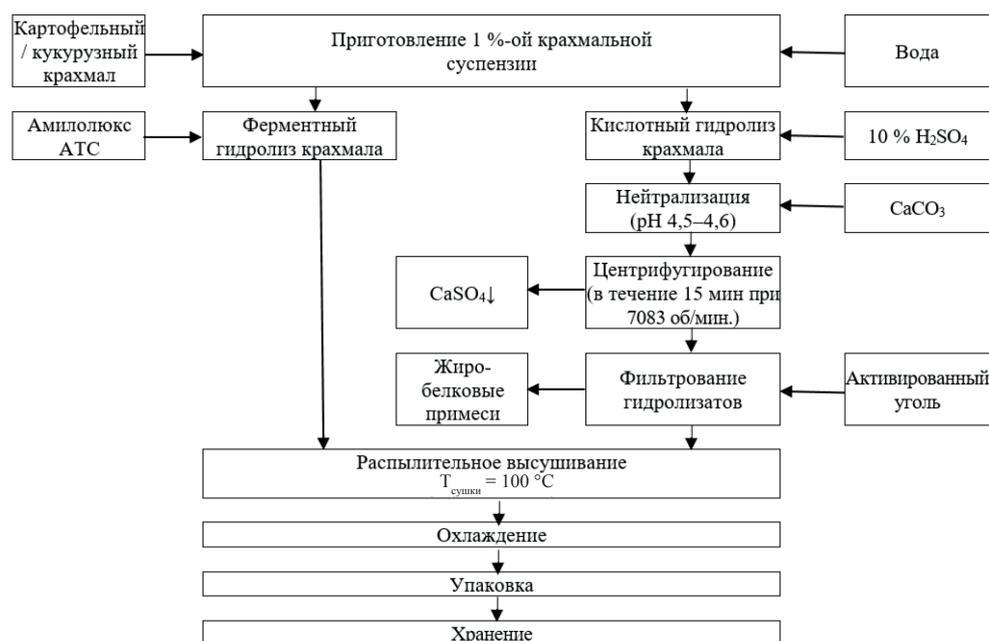


Рисунок 13. Процессуальная схема производства мальтодекстрина

Figure 13. Process flow diagram of maltodextrin production

значение выхода продукта принято 80 % в связи с экономической целесообразностью технологии. При выходе продукта ниже 80 % технология экономически невыгодна. Для высушивания гидролизатов подобраны основные параметры: температура сушки составила 100 °С, температура потока воздуха 100 °С, скорость подачи раствора в установку 12 мл/мин, продолжительность высушивания 3 ч;

7. Охлаждение до 30–35 °С;

8. Упаковка и хранение (24 месяца).

Процессуальная схема получения мальтодекстрина из картофельного и кукурузного крахмала представлена на рисунке 13.

Выводы

Ферментный и кислотный гидролиз крахмала является обязательным этапом технологического процесса производства мальтодекстрина. С целью улучшения технологии получения мальтодекстрина из картофельного и кукурузного крахмала для ферментного гидролиза были рассмотрены и исследованы два ферментных препарата Амиллолюкс АТС и Глюколюкс А. В результате исследований на определение количества прогидролизованного картофельного и кукурузного крахмала, амилитической активности ферментных препаратов Амиллолюкс АТС и Глюколюкс А и скорости ферментного гидролиза перспективным ферментным препаратом является Амиллолюкс АТС. Амилитическая активность Амиллолюкс АТС и скорость ферментного гидролиза выше, чем у ферментного препарата Глюколюкс А. В дальнейшем планируется подбор других ферментных препаратов.

По органолептическому показателю все четыре образца мальтодекстринов не различались между собой. Все образцы имели внешний вид белого сыпучего порошка, с сладковатым привкусом, не имеющего запаха. Хорошо растворяющегося как в горячей воде, так и в холодной.

Полученные мальтодекстрины имели декстрозный эквивалент 12–13 %. В связи с этим данные образцы можно применять в молочной промышленности в качестве эмульгатора при производстве кисломолочных продуктов. Также возможно применение полученных образцов в качестве добавки в сухое молоко, тем самым повысив растворимость продукта. Кроме молочной промышленности полученные образцы мальтодекстринов можно применять и в детском питании в качестве подсластителя, а также при изготовлении замороженных супов, соусов и ароматизаторов.

Проведенный хроматографический анализ показал, что образцы мальтодекстринов, полученные из картофельного крахмала при ферментном гидролизе, имели массовую долю мальтозы $16,73 \pm 0,25$ %, глюкозы – $12,48 \pm 0,05$ %, а при кислотном массовая доля мальтозы – $7,97 \pm 0,15$ %, глюкозы – $2,81 \pm 0,03$ %. Исходя из результатов, ферментный и кислотный гидролиз картофельного крахмала прошел успешно, т. к. количественный выход мальтозы превышает выход глюкозы. Те образцы, которые были получены из кукурузного крахмала при ферментном гидролизе, имели массовую долю мальтозы $40,22 \pm 0,30$ %, глюкозы – $52,93 \pm 0,04$ %, а при кислотном гидролизе

кукурузного крахмала количество мальтозы составляло $18,43 \pm 0,19$ %, глюкозы – $27,00 \pm 0,01$ %. Следовательно, ферментный и кислотный гидролиз кукурузного крахмала прошел полностью, т. к. количественный выход глюкозы значительно превышает выход мальтозы.

Исходя из разработанной технологии получения мальтодекстрина из картофельного и кукурузного крахмала, перспективным методом расщепления крахмала является ферментный гидролиз, по сравнению с кислотным, т. к. при кислотном гидролизе крахмала используется серная кислота. Данный реагент является небезопасным и при ее нейтрализации образуются значительное количество взвесей. Следовательно, готовый продукт получается с примесями.

Критерии авторства

Все авторы внесли равный вклад в создание исследования, обработку и анализ полученных результатов, а также в оформлении статьи.

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Contribution

All authors equally contributed to the research development, processing, data analysis, and the manuscript design

Conflict of interest

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

Список литературы

1. Carochi, M. Sweeteners as food additives in the XXI century: A review of what is known, and what is to come / M. Carochi, P. Morales, I. C. F. R. Ferreira // *Food and Chemical Toxicology*. – 2017. – Vol. 107. – P. 302–317. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.06.046>.
2. Resistant maltodextrin as a shell material for encapsulation of naringin: Production and physicochemical characterization / D. A. Pai, V. R. Vangala, J. W. Ng [et al.] // *Journal of Food Engineering*. – 2015. – Vol. 161. – P. 68–74. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.03.037>.
3. Pycia, K. Maltodextrins produced from chemically modified starches as agents affecting stability and rheological properties of albumin foam / K. Pycia, D. Gałkowska, L. Juszczak // *LWT – Food Science and Technology*. – 2017. – Vol. 80. – P. 394–400. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.002>.
4. Effect of adding potato maltodextrins on baking properties of triticale flour and quality of bread / K. Pycia, G. Jaworska, J. Telega [et al.] // *LWT – Food Science and Technology*. – 2018. – Vol. 96 – P. 199–204. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.039>.
5. Complex enzyme hydrolysis releases antioxidative phenolics from rice bran / L. Liu, W. Wen, R. Zhang [et al.] // *Food Chemistry*. – 2017. – Vol. 214. – P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.038>.
6. Maidannyk, V. A. Structural strength analysis of amorphous trehalose-maltodextrin systems / V. A. Maidannyk, B. Nurhadi, Y. H. Roos // *Food Research International*. – 2017. – Vol. 96. – P. 121–131. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.03.029>.
7. Просеков, А. Ю. Исследование параметров гидролиза молочно-белкового концентрата для капсулирования продуктов питания / А. Ю. Просеков, С. А. Равнюшкин, М. Г. Курбанова // *Техника и технология пищевых производств*. – 2009. – Т. 13, № 2. – С. 69–73.
8. Continuous production of pure maltodextrin from cyclodextrin using immobilized *Pyrococcus furiosus* thermostable amylase / N. P. Cuong, W.-H. Lee, I.-N. Oh [et al.] // *Process Biochemistry*. – 2016. – Vol. 51, № 2. – P. 282–287. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2015.11.022>.
9. Lam, M. K. Utilizing lipid-extracted microalgae biomass residues for maltodextrin production / M. K. Lam, I. S. Tan, K. T. Lee // *Chemical Engineering Journal*. – 2014. – Vol. 2351. – P. 224–230. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.09.023>.
10. Ананских, В. В. О возможности получения мальтодекстринов из кукурузной муки / В. В. Ананских, Л. Д. Шлеина // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2017. – № 11. – С. 9–13.
11. Effect of spray and freeze drying on physico-chemical, functional, moisture sorption and morphological characteristics of camel milk powder / G. K. Deshwal, A. K. Singh, D. Kumar [et al.] // *LWT – Food Science and Technology*. – 2020. – Vol. 134. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110117>.
12. Liquefaction concentration impacts the fine structure of maltodextrin / H. Kong, Y. Zou, Z. Gu [et al.] // *Industrial Crops and Products*. – 2018. – Vol. 123. – P. 687–697. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.042>.
13. Effects of maltodextrin and pulp on the water sorption, glass transition, and caking properties of freeze-dried mango powder / S. Fongin, A. E. A. Granados, N. Harnkarnsujarit [et al.] // *Journal of Food Engineering*. – 2019. – Vol. 247. – P. 95–103. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.11.027>.
14. Hallagan, J. B. The GRAS provision – The FEMA GRAS program and the safety and regulation of flavors in the United States / J. B. Hallagan, R. L. Hall, J. Drake // *Food and Chemical Toxicology*. – 2020. – Vol. 138. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111236>.

15. Karbasi, M. Surface decoration of whey protein microgels through the Maillard conjugation with maltodextrin / M. Karbasi, G. Askari, A. Madadlou // *Food Hydrocolloids*. – 2019. – Vol. 91. – P. 190–197. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.003>.
16. Churio, O. Development and characterization of maltodextrin microparticles to encapsulate heme and non-heme iron / O. Churio, C. Valenzuela // *LWT – Food Science and Technology*. – 2018. – Vol. 96. – P. 568–575. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.072>.
17. Karaca, A. C. Microcapsule production employing chickpea or lentil protein isolates and maltodextrin: Physicochemical properties and oxidative protection of encapsulated flaxseed oil / A. C. Karaca, M. Nickerson, N. H. Low // *Food Chemistry*. – 2013. – Vol. 139, № 1–4. – P. 448–457. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.040>.
18. Functionalization of yogurts with *Agaricus bisporus* extracts encapsulated in spray-dried maltodextrin crosslinked with citric acid / C. R. L. Francisco, S. A. Heleno, I. P. M. Fernandes [et al.] // *Food Chemistry*. – 2018. – Vol. 245. – P. 845–853. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.098>.
19. Разработка комплексных кисломолочных напитков для спортивного питания. Часть 1. / Л. А. Забодалова, Е. П. Сучкова, Д. А. Петров [и др.] // *Вестник международной академии холода*. – 2019. – № 2. – С. 55–61. <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2019-18-2-55-61>.
20. Мальтодекстрин в технологии производства концентрированного молокосодержащего продукта / Л. В. Голубева, О. И. Долматова, Г. М. Смольский [и др.] // *Пищевая промышленность*. – 2015. – № 3. – С. 14–16.
21. Effect of lactose-to-maltodextrin ratio on emulsion stability and physicochemical properties of spray-dried infant milk formula powders / A. K. M. Masum, J. Chandrapala, B. Adhikari [et al.] // *Journal of Food Engineering*. – 2019. – Vol. 254. – P. 34–41. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.023>.
22. Effect of storage conditions on the physicochemical properties of infant milk formula powders containing different lactose-to-maltodextrin ratios / A. K. M. Masum, J. Chandrapala, T. Huppertz [et al.] // *Food Chemistry*. – 2020. – Vol. 319. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126591>.
23. Novoselova, M. V. Technological options for the production of lactoferrin / M. V. Novoselova, A. Yu. Prosekov // *Foods and Raw Materials*. – 2016. – Vol. 4, № 1. – P. 90–101. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-90-101>.
24. Лукин, Д. Н. К вопросу импортозамещения продуктов глубокой переработки зерна и картофеля / Д. Н. Лукин, Н. Р. Андреев // *Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий*. – 2014. – Т. 62, № 4. – С. 291–294.
25. Erbay, Z. Effects of using whey and maltodextrin in white cheese powder production on free fatty acid content, nonenzymatic browning and oxidation degree during storage / Z. Erbay, N. Koca // *International Dairy Journal*. – 2019. – Vol. 96. – P. 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.04.002>.
26. Electrospinning of whey and soy protein mixed with maltodextrin – Influence of protein type and ratio on the production and morphology of fibers / I. Kutzli, M. Gibis, S. K. Baier [et al.] // *Food Hydrocolloids*. – 2019. – Vol. 93. – P. 206–214. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.028>.
27. Prosekov, A. Yu. Theory and practice of prion protein analysis in food products / A. Yu. Prosekov // *Foods and Raw Materials*. – 2014. – Vol. 2, № 2. – P. 106–120. <https://doi.org/10.12737/5467>.
28. Папахин, А. А. Исследование процесса ферментативного гидролиза нативного кукурузного крахмала в гетерогенной среде / А. А. Папахин, Н. Д. Лукин, З. М. Бородина // *Международная научно-практическая конференция «Биотехнология и качество жизни»*. – Москва, 2014. – С. 386–387.
29. Kyriakoudi, A. Properties of encapsulated saffron extracts in maltodextrin using the Büchi B-90 nano spray-dryer / A. Kyriakoudi, M. Z. Tsimidou // *Food Chemistry*. – 2018. – Vol. 266. – P. 458–465. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.038>.
30. Кочетов, О. С. Исследование процессов распылительной сушки / О. С. Кочетов // *Научно-технический прогресс как фактор развития современной цивилизации : сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции*. – Магнитогорск, 2017. – С. 135–137.
31. A new sensory sweetness definition and sweetness conversion method of five natural sugars, based on the Weber-Fechner Law / Y. Mao, S. Tian, Y. Qin [et al.] // *Food Chemistry*. – 2019. – Vol. 281. – P. 78–84. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.049>.
32. Maltodextrin promotes calcium caseinate fibre formation through air inclusion / Z. Wang, B. L. Dekkers, R. Boom [et al.] // *Food Hydrocolloids*. – 2019. – Vol. 95. – P. 143–151. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.04.028>.

References

1. Carochi M, Morales P, Ferreira ICFR. Sweeteners as food additives in the XXI century: A review of what is known, and what is to come. *Food and Chemical Toxicology*. 2017;107:302–317. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2017.06.046>.
2. Pai DA, Vangala VR, Ng JW, Ng WK, Tan RBH. Resistant maltodextrin as a shell material for encapsulation of naringin: Production and physicochemical characterization. *Journal of Food Engineering*. 2015;161:68–74. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2015.03.037>.

3. Pycia K, Galkowska D, Juszcak L. Maltodextrins produced from chemically modified starches as agents affecting stability and rheological properties of albumin foam. *LWT – Food Science and Technology*. 2017;80:394–400. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.03.002>.
4. Pycia K, Jaworska G, Telega J, Sudol I, Kuźniar P. Effect of adding potato maltodextrins on baking properties of triticale flour and quality of bread. *LWT – Food Science and Technology*. 2018;96:199–204. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.039>.
5. Liu L, Wen W, Zhang R, Wei Z, Deng Y, Xiao J, et al. Complex enzyme hydrolysis releases antioxidative phenolics from rice bran. *Food Chemistry*. 2017;214:1–8. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.07.038>.
6. Maidannyk VA, Nurhadi B, Roos YH. Structural strength analysis of amorphous trehalose-maltodextrin systems. *Food Research International*. 2017;96:121–131. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.03.029>.
7. Prosekov AYu, Ravnyushkin SA, Kurbanova MG. Study parameter hydrolysis milk-protein concoction for products of the feeding in capsule. *Food Processing: Techniques and Technology*. 2009;13(2):69–73. (In Russ.).
8. Cuong NP, Lee W-H, Oh I-N, Thuy NM, Kim D-G, Park J-T, et al. Continuous production of pure maltodextrin from cyclodextrin using immobilized *Pyrococcus furiosus* thermostable amylase. *Process Biochemistry*. 2016;51(2):282–287. <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2015.11.022>.
9. Lam MK, Tan IS, Lee KT. Utilizing lipid-extracted microalgae biomass residues for maltodextrin production. *Chemical Engineering Journal*. 2014;235:224–230. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2013.09.023>.
10. Ananskikh VV, Shleina LD. About a possibility of receiving maltodextrins from cornmeal. *Storage and Processing of Farm Products*. 2017;(11):9–13. (In Russ.).
11. Deshwal GK, Singh AK, Kumar D, Sharma H. Effect of spray and freeze drying on physico-chemical, functional, moisture sorption and morphological characteristics of camel milk powder. *LWT – Food Science and Technology*. 2020;134. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110117>.
12. Kong H, Zou Y, Gu Z, Li Z, Jiang Z, Cheng L, et al. Liquefaction concentration impacts the fine structure of maltodextrin. *Industrial Crops and Products*. 2018;123:687–697. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.07.042>.
13. Fongin S, Granados AEA, Harnkarnsujarit N, Hagura Y, Kawai K. Effects of maltodextrin and pulp on the water sorption, glass transition, and caking properties of freeze-dried mango powder. *Journal of Food Engineering*. 2019;247:95–103. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2018.11.027>.
14. Hallagan JB, Hall RL, Drake J. The GRAS provision – The FEMA GRAS program and the safety and regulation of flavors in the United States. *Food and Chemical Toxicology*. 2020;138. <https://doi.org/10.1016/j.fct.2020.111236>.
15. Karbasi M, Askari G, Madadlou A. Surface decoration of whey protein microgels through the Maillard conjugation with maltodextrin. *Food Hydrocolloids*. 2019;91:190–197. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.003>.
16. Churio O, Valenzuela C. Development and characterization of maltodextrin microparticles to encapsulate heme and non-heme iron. *LWT – Food Science and Technology*. 2018;96:568–575. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.05.072>.
17. Karaca AC, Nickerson M, Low NH. Microcapsule production employing chickpea or lentil protein isolates and maltodextrin: Physicochemical properties and oxidative protection of encapsulated flaxseed oil. *Food Chemistry*. 2013;139(1–4):448–457. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.01.040>.
18. Francisco CRL, Heleno SA, Fernandes IPM, Barreira JCM, Calhella RC, Barros L, et al. Functionalization of yogurts with *Agaricus bisporus* extracts encapsulated in spray-dried maltodextrin crosslinked with citric acid. *Food Chemistry*. 2018;245:845–853. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.11.098>.
19. Zabodalova LA, Suchkova EP, Petrov DA, Kritchenkov AS. Development of complex acid and milk drinks for sports food. Part 1. *Journal of International Academy of Refrigeration*. 2019;(2):55–61. (In Russ.). <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2019-18-2-55-61>.
20. Golubeva LV, Dolmatova OI, Smolskiy GM, Gubanov AA, Daryin AO. Maltodextrin in the production technology of the concentrated milk-containing product. *Food Industry*. 2015;(3):14–16. (In Russ.).
21. Masum AKM, Chandrapala J, Adhikari B, Huppertz T, Zisu B. Effect of lactose-to-maltodextrin ratio on emulsion stability and physicochemical properties of spray-dried infant milk formula powders. *Journal of Food Engineering*. 2019;254:34–41. <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2019.02.023>.
22. Masum AKM, Chandrapala J, Huppertz T, Adhikari B, Zisu B. Effect of storage conditions on the physicochemical properties of infant milk formula powders containing different lactose-to-maltodextrin ratios. *Food Chemistry*. 2020;319. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126591>.
23. Novoselova MV, Prosekov AYu. Technological options for the production of lactoferrin. *Foods and Raw Materials*. 2016;4(1):90–101. <https://doi.org/10.21179/2308-4057-2016-1-90-101>.
24. Lukin DN, Andreev NR. On the issue of import substitution of deep processing products from grain and potato. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2014;62(4):291–294. (In Russ.).
25. Erbay Z, Koca N. Effects of using whey and maltodextrin in white cheese powder production on free fatty acid content, nonenzymatic browning and oxidation degree during storage. *International Dairy Journal*. 2019;96:1–9. <https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2019.04.002>.
26. Kutzli I, Gibis M, Baier SK, Weiss J. Electrospinning of whey and soy protein mixed with maltodextrin – Influence of protein type and ratio on the production and morphology of fibers. *Food Hydrocolloids*. 2019;93:206–214. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.02.028>.

27. Prosekov AYu. Theory and practice of prion protein analysis in food products. *Foods and Raw Materials*. 2014;2(2): 106–120. <https://doi.org/10.12737/5467>.

28. Papakhin AA, Lukin ND, Borodina ZM. Study of enzymatic hydrolysis of native corn starch in heterogeneous medium. *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya "Biotekhnologiya i kachestvo zhizni"* [International scientific and practical conference "Biotechnology and Quality of Life"]; 2014; Moscow. Moscow: Ehkspo-biokhim-tekhnologii; 2014. p. 386–387. (In Russ.).

29. Kyriakoudi A, Tsimidou MZ. Properties of encapsulated saffron extracts in maltodextrin using the Büchi B-90 nano spray-dryer. *Food Chemistry*. 2018;266:458–465. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.06.038>.

30. Kochetov OS. Issledovanie protsessov raspylitel'noy sushilki [Research of spray dryer processes]. *Nauchno-tehnicheskiiy progress kak faktor razvitiya sovremennoy tsivilizatsii: sbornik statey po itogam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Scientific and technical progress as a factor in the development of modern civilization: Proceedings of the International scientific and practical conference]; 2017; Magnitogorsk. Magnitogorsk: Agency for International Studies; 2017. p. 135–137. (In Russ.).

31. Mao Y, Tian S, Qin Y, Han J. A new sensory sweetness definition and sweetness conversion method of five natural sugars, based on the Weber-Fechner Law. *Food Chemistry*. 2019;281:78–84. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.12.049>.

32. Wang Z, Dekkers BL, Boom R, van der Goot AJ. Maltodextrin promotes calcium caseinate fibre formation through air inclusion. *Food Hydrocolloids*. 2019;95:143–151. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.04.028>.

Сведения об авторах

Федорова Анастасия Михайловна

магистрант кафедры биотехнологии, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (983) 224-89-62, e-mail: anastasija.fedorova-af2014@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-8071-4411>

Козлова Оксана Васильевна

д-р техн. наук, доцент кафедры бионанотехнологии, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (923) 618-75-57, e-mail: ms.okvk@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-2960-0216>

Славянский Анатолий Анатольевич

д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой технологии продуктов из растительного сырья и парфюмерно-косметических изделий, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет технологий и управления им. К. Г. Разумовского (ПКУ)», 109004, Россия, г. Москва, ул. Земляной вал, 73, тел.: +7 (903) 542-81-23, e-mail: anatoliy4455@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-0262-8841>

Величкович Наталья Сергеевна

канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (950) 575-57-41, e-mail: velichkovich@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-9061-1256>

Ле Виолета Мироновна

канд. хим. наук, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Красная, 6, тел.: +7 (909) 513-99-31, e-mail: ya808@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-9546-6633>

Information about the authors

Anastasia M. Fedorova

Undergraduate of the Department of Biotechnology, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (983) 224-89-62, e-mail: anastasija.fedorova-af2014@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-8071-4411>

Oksana V. Kozlova

Dr.Sci.(Eng.), Associate Professor of the Department of Bionanotechnology, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (923) 618-75-57, e-mail: ms.okvk@mail.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-2960-0216>

Anatoliy A. Slavyanskiy

Dr.Sci.(Eng.), Professor, Head of the Department of Technology of Products from Vegetable Raw Materials and Perfumery and Cosmetic Products, K.G. Razumovsky Moscow State University of Technologies and Management (the First Cossacs University), 73, Zemlyanoy Val Str., Moscow, 109004, Russia, +7 (903) 542-81-23, e-mail: anatoliy4455@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-0262-8841>

Natalia S. Velichkovich

Cand.Sci.(Eng.), Associate Professor, Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (950) 575-57-41, e-mail: velichkovich@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-9061-1256>

Violeta M. Le

Cand.Sci.(Chem.), Kemerovo State University, 6, Krasnaya Str., Kemerovo, 650000, Russia, phone: +7 (909) 513-99-31, e-mail: ya808@yandex.ru
 <https://orcid.org/0000-0002-9546-6633>