

Владимир Владимирович Литвяк¹, Юрий Федорович Росляков^{2✉},

Валерий Викентьевич Шилов³

¹Всероссийский НИИ крахмала и переработки крахмалосодержащего сырья – филиал ФИЦ картофеля им. А.Г. Лорха, п. Красково, Люберецкий р-н, Московская обл., Россия

²Кубанский государственный технологический университет, Краснодар, Россия

³Международный государственный экологический институт им. А.Д. Сахарова Белорусского государственного университета, Минск, Республика Беларусь

¹besserk1974@mail.ru

²lizaveta_ros@mail.ru

³valery.shilov@gmail.com

ИННОВАЦИОННЫЙ СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ САХАРИСТЫХ КРАХМАЛОПРОДУКТОВ

Цель исследования – разработка высокоэффективного и экономичного способа получения сахаристых крахмалопродуктов. Предложен инновационный высокоэффективный и экономичный способ получения сахаристых крахмалопродуктов, предусматривающий кислотный или ферментативный гидролиз крахмальной суспензии, с или без ферментативной изомеризации глюкозы, очистку глюкозных или глюкозо-фруктозных сиропов (ГФС), сгущение глюкозных сиропов, с или без кристаллизации глюкозы, отличающийся от ранее известных тем, что очистка глюкозного или ГФС от минеральных веществ, белка и меланоидинов осуществляется при помощи баромембранных технологий в результате: микрофльтрации с использованием микрофльтрационных мембран с размером пор 100–0,1 мкм и/или ультрафльтрации с использованием ультрафльтрационных мембран с размерами пор 0,01–0,1 мкм, и/или обратным осмосом с использованием мембран с размерами пор 0,001–0,0001 мкм, а также при помощи электролиза в результате последовательного пропускания электрического тока при плотности тока 10–15 мА/см² и температуре 20–40 °С через глюкозный или ГФС после его подкисления до pH > 6 в течение 15 мин и далее через глюкозный или ГФС после его подщелачивания до pH < 6 в течение 15 мин с последующим при получении патоки крахмальной сгущением глюкозного сиропа до 70–78 % сухих веществ, или при получении ГФС сгущением данного сиропа до 45–50 % сухих веществ или при получении глюкозы сгущением при температуре 36–37 °С глюкозного сиропа до 45–50 % сухих веществ при помощи обратного осмоса с использованием мембран с размерами пор 0,001–0,0001 мкм, с или без сушки на распылительной сушилке при температуре 100–140 °С сгущенного до 70–78 % сухих веществ паточного сиропа или сгущенного до 45–50 % сухих веществ ГФС.

Ключевые слова: технологии, сахаристые крахмалопродукты, патока, глюкозо-фруктозный сироп, сироп, глюкоза, баромембранные процессы, микрофльтрация, ультрафльтрация, обратный осмос, электролиз

Для цитирования: Литвяк В.В., Росляков Ю.Ф., Шилов В.В. Инновационный способ получения сахаристых крахмалопродуктов // Вестник КрасГАУ. 2024. № 8. С. 187–196. DOI: 10.36718/1819-4036-2024-8-187-196.

Vladimir Vladimirovich Litvyak¹, Yuri Fedorovich Roslyakov²✉, Valery Vikentyevich Shilov³

¹All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials – branch of the FRC of Potatoes named after A.G. Lorkh, Kraskovo settlement, Lyuberetsky District, Moscow Region, Russia

²Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

³International State Ecological Institute named after A.D. Sakharov of the Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus

¹besserk1974@mail.ru

²lizaveta_ros@mail.ru

³valery.shilov@gmail.com

INNOVATIVE METHOD FOR OBTAINING SUGAR STARCH PRODUCTS

The aim of the study is to develop a highly efficient and cost-effective method for obtaining sugary starch products. An innovative, highly efficient and cost-effective method for obtaining sugary starch products is proposed, which involves acid or enzymatic hydrolysis of a starch suspension, with or without enzymatic isomerization of glucose, purification of glucose or glucose-fructose syrups (GFS), thickening of glucose syrups, with or without crystallization of glucose, which differs from previously known methods in that the purification of glucose or GFS from minerals, protein and melanoidins is carried out using baromembrane technologies as a result of: microfiltration using microfiltration membranes with a pore size of 100–0.1 μm and/or ultrafiltration using ultrafiltration membranes with a pore size of 0.01–0.1 μm , and/or reverse osmosis using membranes with a pore size of 0.001–0.0001 μm , as well as by electrolysis as a result of successive passing of electric current at a current density of 10–15 mA/cm² and a temperature of 20–40 °C through glucose or GFS after its acidification to pH > 6 for 15 min and then through glucose or GFS after its alkalization to pH < 6 for 15 min, followed by thickening of glucose syrup to 70–78 % dry matter in the production of starch molasses, or thickening of this syrup to 45–50 % dry matter or when obtaining glucose by thickening glucose syrup at a temperature of 36–37 °C to 45–50 % dry matter using reverse osmosis using membranes with pore sizes of 0.001–0.0001 μm , with or without drying in a spray dryer at a temperature of 100–140 °C of molasses syrup thickened to 70–78 % dry matter or GFS thickened to 45–50 % dry matter.

Keywords: technologies, sugary starch products, molasses, glucose-fructose syrup, syrup, glucose, baromembrane processes, microfiltration, ultrafiltration, reverse osmosis, electrolysis

For citation: Litvyak V.V., Roslyakov Y.F., Shilov V.V. Innovative method for obtaining sugar starch products // Bulliten KrasSAU. 2024;(8): 187–196 (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2024-8-187-196.

Введение. Широко известен способ получения сахаристых крахмалопродуктов методом гидролиза крахмала [1, 2] в результате последовательно осуществляемых технологических этапов.

1. При получении патоки крахмальной (ПК) разного углеводного состава (рис. 1): подготовка 38–40 % сухих веществ (СВ) крахмальной суспензии к разжижению, кислотное или ферментативное разжижение (для низкосахаренной патоки (НКП) 3 % редуцирующих веществ (РВ), для карамельной патоки (ККП)) (при картофельном крахмале 8–9 % РВ, при кукурузном крахмале 10–12 % РВ), для высокосахаренной па-

токи (ВКП) 48–50 % РВ, для мальтозной патоки (МКП) 15–20 % РВ), нейтрализация или инактивация ферментов, охлаждение и корректировка рН, ферментативное или кислотное осахаривание (для НКП до 34 % РВ, для ККП 34–44 % РВ, для ВКП более 44 % РВ, для МКП более 50 % мальтозы и менее 50 % глюкозы), инактивация ферментов или нейтрализация, механическое фильтрование, выпаривание в выпарной установке, адсорбционная очистка с помощью активного угля, контрольное фильтрование, уваривание до 78 % СВ, охлаждение, хранение и розлив.



Кукурузная патока



Картофельная патока

Рис. 1. Патока крахмальная

2. При получении глюкозо-фруктозного сиропа (ГФС) разного углеводного состава: подготовка 38–40 % СВ крахмальной суспензии к разжижению, кислотное или ферментативное разжижение, нейтрализация или инактивация ферментов, охлаждение и корректировка pH, ферментативное или кислотное осахаривание, нейтрализация или инактивации ферментов, охлаждение и корректировка pH, изомеризация глюкозы при помощи ферментного препарата с глюкозоизомеразной активностью, инактивация или нейтрализация фермента глюкозоизомеразы, механическое фильтрование, адсорбционная очистка с помощью активного угля, контрольное фильтрование, охлаждение, хранение и розлив.

3. При получении глюкозы: подготовка 38–40 % СВ крахмальной суспензии к разжижению, кислотное или ферментативное разжижение, нейтрализация или инактивация ферментов, охлаждение и корректировка pH, ферментативное или кислотное осахаривание, инактивация или нейтрализация ферментов, механическое фильтрование, выпаривание в выпарной установке до 45–50 % СВ, обработка ионообменными смолами или адсорбционная очистка с помощью активного угля, контрольное фильтрование, охлаждение уваренного сиропа и кристаллизация при начальной температуре 45–50 °С и конечной температуре 36–37 °С, отделение кристаллов на центрифуге, высушивание кристаллов, фасовка, упаковка, хранение и транспортирование.

Недостатком известного способа получения сахаристых крахмалопродуктов (ПК и ГФС разного углеводного состава, а также глюкозы) являются прежде всего недостаточно высокие потребительские характеристики сахаристых крахмалопродуктов (большая зольность, большое

количество окрашенных сложных высокомолекулярных органических соединений – меланоидинов (М)). Кроме этого, в качестве недостатков можно указать также на трудоемкость и многоэтапность технологического процесса получения сахаристых крахмалопродуктов по традиционной технологии, что требует дорогостоящего технологического оборудования и высококвалифицированных специалистов.

Технология получения сахаристых крахмалопродуктов обуславливает реакцию меланоидинообразования (сахароамминную реакцию или реакцию Майяра), которая приводит к образованию трудно устранимых сопутствующих окрашенных органических веществ сложного строения – М [3].

Цель исследования – разработка высокоэффективного и экономичного способа получения сахаристых крахмалопродуктов: патоки крахмальной и ГФС разного углеводного состава, сухих сиропов глюкозного (мальтодекстрина) и глюкозо-фруктозного, а также глюкозы с хорошими потребительскими характеристиками (прозрачностью, а также низким количеством примесей: протеинов, белков (Б), М и минеральных веществ) за счет использования очистки глюкозных и ГФС баромембранными процессами (БМП).

Объекты и методы. Объект исследования – технологии сахаристых крахмалопродуктов: ПК и ГФС разного углеводного состава, сухих сиропов глюкозного (мальтодекстрина) и глюкозо-фруктозного, а также глюкозы.

Анализ технологий сахаристых крахмалопродуктов осуществляли при помощи компьютерных технологий (MS Word и MS Excel) и ресурсов Интернета по базам данных РИНЦ, eLibrary.Ru,

WIKIPEDIA, Google Scholar, ResearchGate, PubMed, Mendeley, Scopus по ключевым словам и словосочетаниям на русском языке: «технологии», «сахаристые крахмалопродукты», «патока», «глюкозо-фруктозный сироп», «сироп», «глюкоза», «баромембранные процессы», «микрофилтрация», «ультрафилтрация», «обратный осмос», «электролиз» и английском языке: «technology», «sugary starch products», «molasses», «glucose-fructose syrup», «syrup», «glucose», «baromembrane processes», «microfiltration», «ultrafiltration», «reverse osmosis», «electrolysis».

Результаты и их обсуждение. Нами предложен инновационный способ получения сахаристых крахмалопродуктов, предусматривающий кислотный или ферментативный гидролиз крахмальной суспензии, с или без ферментативной изомеризации глюкозы, очистку глюкозных или ГФС, сгущение глюкозных сиропов, с или без кристаллизации глюкозы, который отличается от известных ранее тем, что очистка глюкозного или ГФС от минеральных веществ, Б и М осуществляется при помощи БМП в результате микрофилтрации (МФ) с использованием МФ мембран (МБ) с размером пор 100–0,1 мкм и/или ультрафилтрации (УФ) с использованием УФ мембран с размерами пор 0,01–0,1 мкм, и/или обратным осмосом (ОО) с использованием ОО мембран с размерами пор 0,001–0,0001 мкм, а также при помощи электролиза (Э) в результате последовательного пропускания электрического тока (ЭТ) при плотности ЭТ 10–15 мА/см² и температуре 20–40 °С через глюкозный или ГФС после его подкисления до pH > 6 в течение 15 мин и далее через глюкозный или ГФС после его подщелачивания до pH < 6 в течение 15 мин с последующим при получении ПК сгущением глюкозного сиропа до 70–78 % СВ, или при получении ГФС сгущением данного сиропа до 45–50 % СВ, или при получении глюкозы сгущением при температуре 36–37 °С глюкозного сиропа до 45–50 % СВ при помощи ОО с использованием мембран ОО с размерами пор 0,001–0,0001 мкм, с или без сушки на распылительной сушилке при температуре 100–140 °С сгущенного до 70–78 % СВ в паточного сиропа или сгущенного до 45–50 % СВ ГФС.

В настоящее время в пищевой промышленности (ПП) широко используются БМП (рис. 2–4) [4].

1. МФ-БМП с использованием МФ мембран с размером пор 100–0,1 мкм.

2. УФ-БМП с использованием УФ мембран с размерами пор 0,01–0,1 мкм.

3. ОО-БМП с использованием мембран ОО с размерами пор 0,001–0,0001 мкм.

Также сейчас в ПП активно применяется для очистки от разных сопутствующих веществ (М, минеральных веществ и т. д.) Э – физико-химический процесс, основу которого составляет ЭТ растворитель, но не пропускает некоторые растворенные в нем вещества. Установка ОО способна удалять из воды частицы с размерами 0,001–0,0001 мкм.

При обезвоживании важным является знание о диаметре воды. Известно, что диаметр молекулы воды (H₂O) равняется 0,3 нм, или 0,0003 мкм, или 3·10⁻⁸ см, или 3·10⁻¹⁰ м, или 3Å.

В стремлении повысить энергоэффективность процесса обезвоживания мембранная технология (МТ) стала жизнеспособным решением, служащим этапом предварительного концентрирования, который снижает содержание воды и минимизирует затраты тепловой энергии перед испарением [5]. Важнейшим преимуществом МТ в ПП является ее способность производить безопасные, качественные и питательные продукты питания [6]. Более того, ее можно легко интегрировать с другими процессами разделения, что позволяет разрабатывать гибридные, более доступные и простые в эксплуатации по сравнению с традиционными методами [6, 7]. Следовательно, на пищевую промышленность приходится около 20–30 % мировых продаж МБ [8], причем только в молочной промышленности используется около 40 % МТ [8]. Среди МТ под давлением МФ и УФ обычно используются в ПП в качестве установок предварительной обработки, эффективно удаляя нежелательные макромолекулы и микроорганизмы из сырых жидких пищевых продуктов перед дальнейшей обработкой [9, 10]. Хотя технология ОО обеспечивает более низкий коэффициент концентрации, чем испарение, она дает явные преимущества в концентрировании сахара, фруктовых и овощных соков, так как работает при более низких температурах, сохраняя качество пищевых продуктов [11].

Экономические факторы зачастую создают значительные ограничения для широкого вне-

дрения МТ. МТ, которые основаны на давлении, менее энергозатраны. В сравнении с традиционными способами обезвоживания, например сушкой [12], их потребление энергии значительно больше, чем при осмотических БМП, таких как прямой осмос (ПО) и мембранная дистилляция (МД). Таким образом, процессы ПО и МД открывают существенные перспективы для производства продукции высокого качества за счет более высоких коэффициентов концентрации, низкого потенциала загрязнения МБ и меньших энергетических затрат [13]. Тем не менее использование полимерных МБ для очистки соков представляет затруднение при масштабировании

МТ из-за низкой плотности упаковки и высоких затрат на замену МБ [14, 15]. Регулярная очистка МБ необходима также для поддержания оптимальной производительности, но данный процесс может быть дорогим и трудоемким, а также может включать в себя хлорсодержащие химические вещества в растворе [16]. Очень важно поэтому, чтобы методы обработки и консервирования пищевых продуктов поддерживали свежесть продуктов, обеспечивали безопасность и сохранение питательных веществ, а также достаточный срок хранения при решении этих проблем [17, 18].

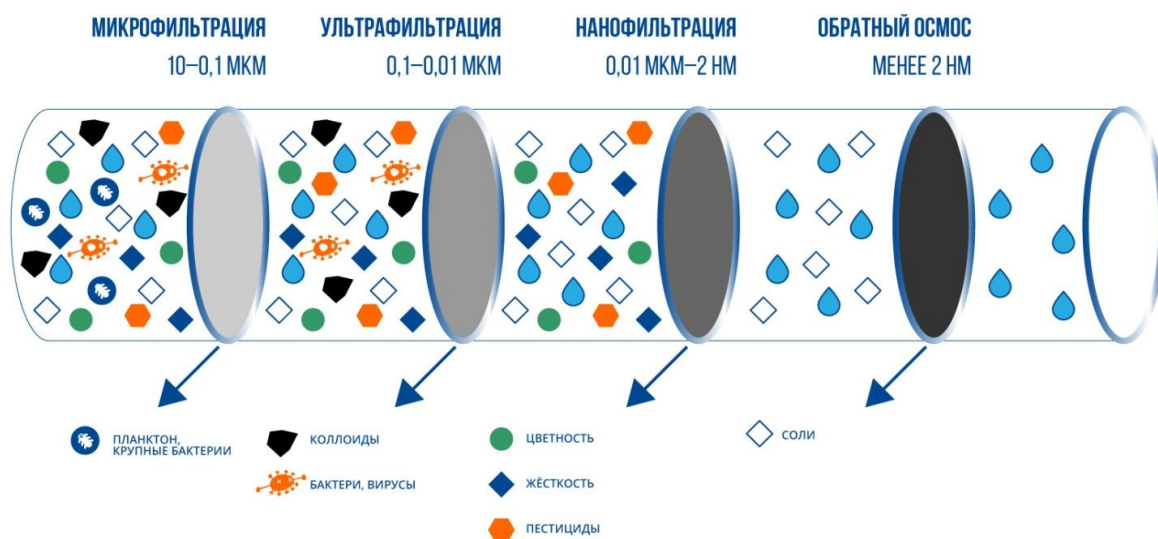


Рис. 2. Основные БМП

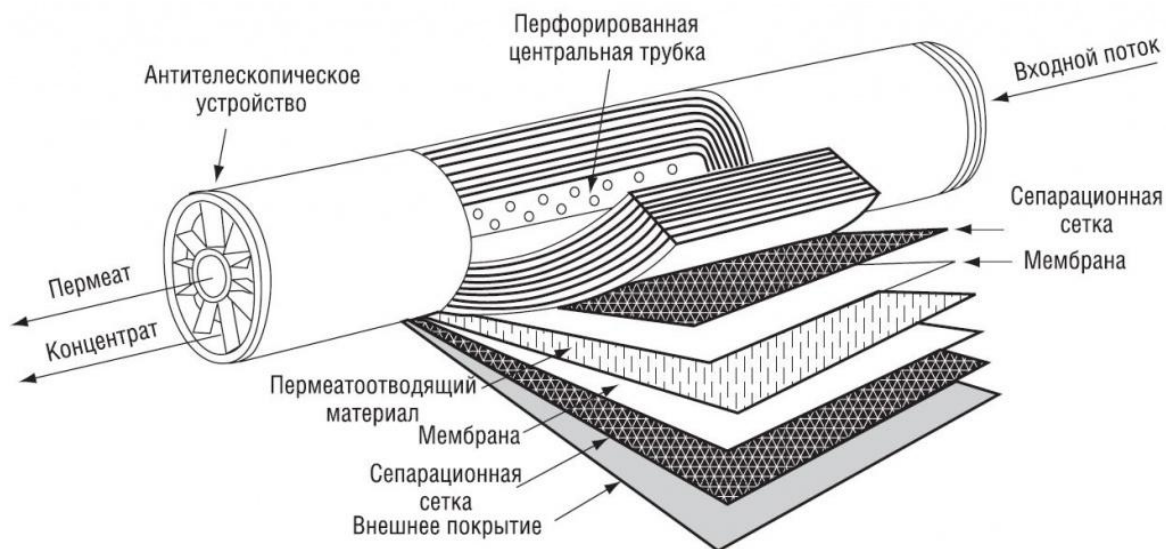


Рис. 3. Конструкция рулонного мембранного элемента

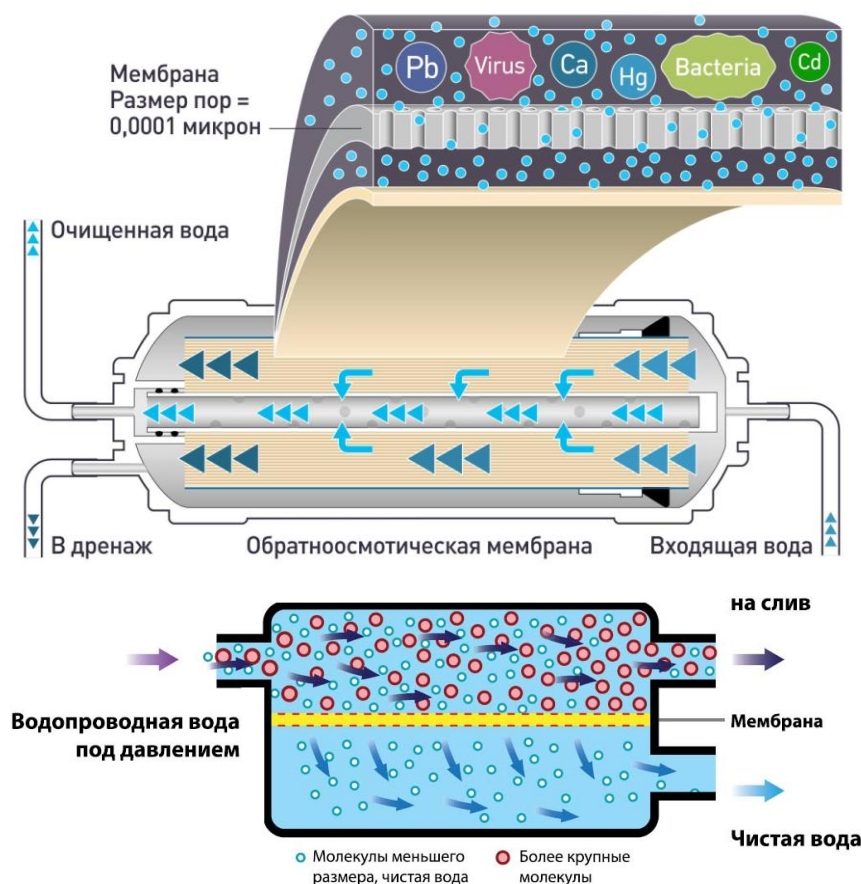


Рис. 4. Особенности процесса обратного осмоса

Используемое сырье при получении сахаристых крахмалопродуктов. В качестве сырья использовали:

1. Нативный крахмал по техническому нормативному правовому акту (ТНПА): крахмал картофельный – по ГОСТ 7699-78 (влажность 17–20 %); крахмал кукурузный – по ГОСТ 7697-82 (влажность 13–16 %); крахмал тапиоковый, пшеничный, ржаной, ячменный, тритикалевый, рисовый, амарантовый, сорговый, нутový, гороховый, бобовый, чумизный – по ТНПА; крахмальные смеси различного соотношения – по ТНПА.

2. Амилолитические ферментные препараты по ТНПА.

3. Минеральные кислоты по ТНПА: соляная кислота (HCl) – по ТНПА; серная кислота (H₂SO₄) – по ТНПА.

4. Щелочь по ТНПА: гидроксид натрия (NaOH) – по ТНПА; гидроксид калия (KOH) – по ТНПА.

Технология получения ПК разного углеводного состава. Получение ПК предусматривает:

1. Подготовка 38–40 % СВ крахмальной суспензии к гидролизу.

2. Разваривание – клейстеризация крахмала при температуре 90–100 °С в течение 1–5 мин.

3. 1-й этап гидролиз крахмала – разжижение кислотное или ферментативное:

- для НКП 3 % РВ;

- для ККП:

- при картофельном крахмале 8–9 % РВ,

- при кукурузном крахмале 10–12 % РВ;

- для ВКП 48–50 % РВ;

- для МКП 15–20 % РВ.

4. Нейтрализация или инактивация ферментов.

5. Охлаждение и корректировка pH.

6. 2-й этап гидролиза крахмала – осахаривание ферментативное или кислотное:

- для НКП до 34 % РВ;

- для ККП 34–44 % РВ;

- для ВКП более 44 % РВ;

- для МКП более 50 % мальтозы и менее 50 % глюкозы.

7. Инактивация ферментов или нейтрализация.

8. Очистка паточного (глюкозного) сиропа от минеральных веществ, Б и М осуществляется при помощи БМП в результате одного из способов:

- МФ с использованием МФ мембран с размером пор 100–0,1 мкм и/или
- УФ с использованием УФ мембран с размерами пор 0,01–0,1 мкм, и/или
- ОО с использованием мембран ОО с размерами пор 0,001–0,0001 мкм.

9. Проводят очистку паточного (глюкозного) сиропа при помощи электролиза (1-й этап) в результате последовательного пропускания электрического тока при плотности тока 10–15 мА/см³ и температуре 20–40 °С через паточный сироп после его подкисления до pH > 6 в течение 15 мин.

10. Проводят очистку паточного (глюкозного) сиропа при помощи Э (2-й этап) в результате последовательного пропускания ЭТ при плотности тока 10–15 мА/см³ и температуре 20–40 °С через паточный сироп после его подщелачивания до pH < 6 в течение 15 мин.

11. Осуществляют сгущение паточного (глюкозного) сиропа до 70–78 % СВ при помощи ОО с использованием мембран ОО с размерами пор 0,001–0,0001 мкм.

Среди различных технологий сахаристых крахмалопродуктов технология ПК является базовой.

Технология получения ГФС разного углеводного состава. На первоначальном этапе технологии ГФС осуществляют получение глюкозного сиропа аналогичным как в технологии ПК способом, т. е. методом кислотного или кислотнo-ферментативного или ферментативного гидролиза крахмала в две стадии:

- стадия 1: разжижение крахмалосодержащего сырья;
- стадия 2: осахаривание крахмалосодержащего сырья.

Для изомеризации глюкозы в полученном глюкозном сиропе используется ферментный препарат с глюкозоизомеразной активностью. Перед началом изомеризации (перед внесением фермента в глюкозный сироп) проводят корректировку pH и температуры глюкозного сиропа под оптимум действия глюкозоизомеразы.

После проведения реакции изомеризации проводят инактивацию или нейтрализацию фермента глюкозоизомеразы температурой или изменением pH среды.

Очистку ГФС от минеральных веществ, Б и М осуществляют при помощи БМП в результате:

- МФ с использованием МФ мембран с размером пор 100–0,1 мкм и/или
- УФ с использованием УФ мембран с размерами пор 0,01–0,1 мкм, и/или
- ОО с использованием мембран ОО с размерами пор 0,001–0,0001 мкм.

Далее проводят первичную очистку ГФС при помощи Э (1-й этап) в результате последовательного пропускания ЭТ при плотности ЭТ 10–15 мА/см³ и температуре 20–40 °С через паточный сироп после его подкисления до pH > 6 в течение 15 мин.

Впоследствии проводят вторичную очистку ГФС при помощи Э (2-й этап) в результате последовательного пропускания ЭТ при плотности ЭТ 10–15 мА/см³ и температуре 20–40 °С через паточный сироп после его подщелачивания до pH < 6 в течение 15 мин.

При необходимости осуществляют сгущение ГФС до 45–50 % СВ при помощи ОО с использованием мембран ОО с размерами пор 0,001–0,0001 мкм.

При необходимости сгущенный до 45–50 % СВ ГФС сушат на распылительной сушке при температуре 100–140 °С.

Технология получения сухого глюкозного сиропа (мальтодекстрина) и сухого ГФС разного углеводного состава. В начале технологии сухих сиропов осуществляют получение глюкозного сиропа аналогичным способом, как в технологии патоки крахмальной, т. е. методом кислотного, или кислотнo-ферментативного, или ферментативного гидролиза крахмала в одну и/или две стадии:

- стадия 1: разжижение крахмалосодержащего сырья и/или
- стадия 2: осахаривание крахмалосодержащего сырья.

Очистку глюкозного сиропа от минеральных веществ, Б и М осуществляют при помощи БМП в результате:

- МФ с использованием МФ мембран с размером пор 100–0,1 мкм и/или

– УФ с использованием УФ мембран с размерами пор 0,01–0,1 мкм, и/или

– ОО с использованием мембран ОО с размерами пор 0,001–0,0001 мкм.

Далее проводят первичную очистку глюкозного сиропа при помощи Э (1-й этап) в результате последовательного пропускания ЭТ при плотности ЭТ 10–15 мА/см³ и температуре 20–40 °С через паточный сироп после его подкисления до pH > 6 в течение 15 мин.

Впоследствии проводят вторичную очистку глюкозного сиропа при помощи Э (2-й этап) в результате последовательного пропускания ЭТ при плотности ЭТ 10–15 мА/см³ и температуре 20–40 °С через паточный сироп после его подщелачивания до pH < 6 в течение 15 мин.

Осуществляют сгущение глюкозного сиропа до 70–78 % СВ при помощи ОО с использованием мембран ОО с размерами пор 0,001–0,0001 мкм.

Сгущенный до 70–78 % СВ глюкозный сироп сушат на распылительной сушке при температуре 100–140 °С с получением сухого глюкозного сиропа (мальтодекстрина разного декстрозного эквивалента).

При получении сухих ГФС разного углеводного состава дополнительно проводят изомеризацию глюкозы в полученном глюкозном сиропе, используя ферментный препарат с глюкозоизомеразной активностью. При этом перед началом изомеризации (перед внесением фермента в глюкозный сироп) проводят корректировку pH и температуры глюкозного сиропа под оптимум действия глюкозоизомеразы.

Очистку ГФС от минеральных веществ, Б и М осуществляют при помощи БМП в результате:

– МФ с использованием МФ мембран с размером пор 100–0,1 мкм и/или

– УФ с использованием УФ мембран с размерами пор 0,01–0,1 мкм, и/или

– ОО с использованием мембран ОО с размерами пор 0,001–0,0001 мкм.

Далее проводят первичную очистку ГФС при помощи Э (1-й этап) в результате последовательного пропускания ЭТ при плотности ЭТ 10–15 мА/см³ и температуре 20–40 °С через паточный сироп после его подкисления до pH > 6 в течение 15 мин.

Впоследствии проводят вторичную очистку ГФС при помощи Э (2-й этап) в результате последовательного пропускания ЭТ при плотности

ЭТ 10–15 мА/см³ и температуре 20–40 °С через паточный сироп после его подщелачивания до pH < 6 в течение 15 мин.

Осуществляют сгущение ГФС до 45–50 % СВ при помощи ОО а с использованием мембран ОО с размерами пор 0,001–0,0001 мкм.

Сгущенный до 45–50 % СВ ГФС сушат на распылительной сушкой при температуре 100–140 °С.

Технология получения глюкозы. На первоначальном этапе технологии глюкозы осуществляют получение глюкозного сиропа аналогичным, как в технологии патоки крахмальной, способом, т. е. методом кислотного, или кислотно-ферментативного, или ферментативного гидролиза крахмала в две стадии:

– стадия 1: разжижение крахмалосодержащего сырья;

– стадия 2: осахаривание крахмалосодержащего сырья.

Очистку глюкозного сиропа от минеральных веществ, Б и М осуществляют при помощи БМП в результате:

– МФ с использованием МФ мембран с размером пор 100–0,1 мкм и/или

– УФ с использованием УФ мембран с размерами пор 0,01–0,1 мкм, и/или

– ОО с использованием мембран ОО с размерами пор 0,001–0,0001 мкм.

Далее проводят первичную очистку глюкозного сиропа при помощи Э (1-й этап) в результате последовательного пропускания ЭТ при плотности ЭТ 10–15 мА/см³ и температуре 20–40 °С через паточный сироп после его подкисления до pH > 6 в течение 15 мин.

Впоследствии проводят вторичную очистку глюкозного сиропа при помощи Э (2-й этап) в результате последовательного пропускания ЭТ при плотности ЭТ 10–15 мА/см³ и температуре 20–40 °С через паточный сироп после его подщелачивания до pH < 6 в течение 15 мин.

На заключительном этапе технологии осуществляют сгущение глюкозного сиропа при температуре 36–37 °С до 45–50 % СВ при помощи ОО с использованием мембран ОО с размерами пор 0,001–0,0001 мкм с последующей кристаллизацией, отделением кристаллов на центрифуге, сушкой кристаллов, их фасовкой, упаковкой, хранением и транспортировкой.

Заключение. Таким образом, нами предложен инновационный, высокоэффективный и экономичный способ получения сахаристых крахмалопродуктов: патоки крахмальной разного углеводного состава (низкосахаренной, высокосахаренной, карамельной и мальтозной), ГФС разного углеводного состава, глюкозы, сухих глюкозных сиропов (мальтодекстринов с разным декстрозным эквивалентом) и сухих ГФС разного углеводного состава с улучшенными потребительскими характеристиками (прозрачностью, а также низким количеством примесей: протеинов, Б, М и минеральных веществ) в результате использования БМП очистки (МФ, УФ и ОО), а также двухэтапного Э.

Список источников

1. Справочник по крахмало-паточному производству / Д.Р. Абрагам [и др.]; под ред. Е.А. Штырковой, М.Г. Губина. М.: Пищ. пром-сть, 1978. 430 с.
2. Ловкис З.В., Литвяк В.В., Петюшев Н.Н. Технология крахмала и крахмалопродуктов. Минск: Асобны, 2007. 178 с.
3. Углеводы в пищевых продуктах / М.О. Полумбрик [и др.]. Минск: ИВЦ Минфина, 2016. 592 с.
4. Мулдер М. Введение в мембранную технологию: пер. с англ. М.: Мир, 1999. 513 с.
5. Lonsdale H.K. The growth of membrane technology // J. Membr. Sci. 1982. Vol. 10. P. 81–181.
6. Conidi C., Basile A., Cassano A. Food-processing wastewater treatment by membrane-based operations: recovery of biologically active compounds and water reuse, in: Advanced Technologies in Wastewater Treatment // Elsevier. 2023. P. 101–125.
7. Gül K., Hasanoglu A. Concentration of skim milk using a hybrid system of osmotic distillation and membrane distillation // Desalin. Water Treat. 2019. Vol. 149. P. 11–22.
8. Yadav D., Karki S., Ingole P.G. Nanofiltration (NF) membrane processing in the food industry // Food Eng. Rev. 2022. Vol. 14. P. 579–595.
9. Advancement of forward osmosis (FO) membrane for fruit juice concentration / I.G. Werten [et al.] // J. Food Eng. 2021. Vol. 290. P. 110216.

10. Petrotos K.B., Lazarides H.N. Osmotic concentration of liquid foods // J. Food Eng. 2001. Vol. 49. P. 201–206.
11. Membrane technologies in the food and beverage industry / C. Celikten [et al.] // J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ. 2022. Vol. 37. P. 1713–1734.
12. Ladha-Sabur A., Bakalis S., Fryer P.J., Lopez-Quiroga E. Mapping energy consumption in food manufacturing // Trends Food Sci. 2019. Vol. 86. P. 270–280.
13. Morker H., Saini B., Dey A. Role of membrane technology in food industry effluent treatment // Mater. Today.: Proc. 2023. Vol. 77. P. 314–321.
14. Conidi C., Castro-Munoz R., Cassano A. Membrane-based operations in the fruit juice processing industry: a review // Beverages. 2020. Vol. 6. P. 18.
15. Bhattacharjee C., Saxena V.K., Dutta S. Fruit juice processing using membrane technology: a review // Innov. Food Sci. Emerg. Technol. 2017. Vol. 43. P. 136–153.
16. Enhancing cleaning of microfiltration membranes fouled by food oily wastewater using microbubbles / M.M.S. Chung [et al.] // Food Bioprod. Process. 2023. Vol. 138. P. 53–59.
17. Атлас: морфологическая характеристика биологических объектов: монография / В.Г. Лобанов [и др.]. Краснодар: Изд-во КубГТУ, 2021. 279 с.
18. Крахмал и крахмалопродукты: монография / В.В. Литвяк [et al.]; под ред. Ю.Ф. Рослякова. Краснодар: Изд-во КубГТУ, 2013. 204 с.

References

1. Spravochnik po krahmalo-patochnomu proizvodstvu / D.R. Abragam [i dr.]; pod red. E.A. Shtyrkovej, M.G. Gubina. M.: Pisch. prom-st', 1978. 430 s.
2. Lovkis Z.V., Litvyak V.V., Petyushev N.N. Tehnologiya krahmala i krahmaloproduktov. Minsk: Asobny, 2007. 178 s.
3. Uglevody v pischevyh produktah / M.O. Polumbrik [i dr.]. Minsk: IVC Minfina, 2016. 592 s.
4. Mulder M. Vvedenie v membrannuyu tehnologiyu: per. s angl. M.: Mir, 1999. 513 s.
5. Lonsdale H.K. The growth of membrane technology // J. Membr. Sci. 1982. Vol. 10. P. 81–181.

6. Conidi C., Basile A., Cassano A. Food-processing wastewater treatment by membrane-based operations: recovery of biologically active compounds and water reuse, in: *Advanced Technologies in Wastewater Treatment* // Elsevier. 2023. P. 101–125.
7. Gül K., Hasanoglu A. Concentration of skim milk using a hybrid system of osmotic distillation and membrane distillation // *Desalin. Water Treat.* 2019. Vol. 149. P. 11–22.
8. Yadav D., Karki S., Ingole P.G. Nanofiltration (NF) membrane processing in the food industry // *Food Eng. Rev.* 2022. Vol. 14. P. 579–595.
9. Advancement of forward osmosis (FO) membrane for fruit juice concentration / I.G. Wenten [et al.] // *J. Food Eng.* 2021. Vol. 290. P. 110216.
10. Petrotos K.B., Lazarides H.N. Osmotic concentration of liquid foods // *J. Food Eng.* 2001. Vol. 49. P. 201–206.
11. Membrane technologies in the food and beverage industry / C. Celikten [et al.] // *J. Fac. Eng. Archit. Gazi Univ.* 2022. Vol. 37. P. 1713–1734.
12. Ladha-Sabur A., Bakalis S., Fryer P.J., Lopez-Quiroga E. Mapping energy consumption in food manufacturing // *Trends Food Sci.* 2019. Vol. 86. P. 270–280.
13. Morker H., Saini B., Dey A. Role of membrane technology in food industry effluent treatment // *Mater. Today.: Proc.* 2023. Vol. 77. P. 314–321.
14. Conidi C., Castro-Munoz R., Cassano A. Membrane-based operations in the fruit juice processing industry: a review // *Beverages.* 2020. Vol. 6. P. 18.
15. Bhattacharjee C., Saxena V.K., Dutta S. Fruit juice processing using membrane technology: a review // *Innov. Food Sci. Emerg. Technol.* 2017. Vol. 43. P. 136–153.
16. Enhancing cleaning of microfiltration membranes fouled by food oily wastewater using microbubbles / M.M.S. Chung [et al.] // *Food Bioprod. Process.* 2023. Vol. 138. P. 53–59.
17. Atlas: morfologicheskaya harakteristika biologicheskikh ob`ektov: monografiya / V.G. Lobanov [i dr.]. Krasnodar: Izd-vo KubGTU, 2021. 279 s.
18. Krahmal i krahmaloprodukty: monografiya / V.V. Litvyak [et al.]; pod red. Yu.F. Roslyakova. Krasnodar: Izd-vo KubGTU, 2013. 204 s.

Статья принята к публикации 19.02.2024 / The article accepted for publication 19.02.2024.

Информация об авторах:

Владимир Владимирович Литвяк¹, ведущий научный сотрудник, доктор технических наук, кандидат химических наук, доцент

Юрий Федорович Росляков², профессор кафедры пищевой инженерии, доктор технических наук, профессор

Валерий Викентьевич Шилов³, доцент кафедры экологической медицины и радиобиологии, кандидат биологических наук

Information about the authors:

Vladimir Vladimirovich Litvyak¹, Leading Researcher, Doctor of Technical Sciences, Candidate of Chemical Sciences, Docent

Yuri Fedorovich Roslyakov², Professor at the Department of Food Engineering, Doctor of Technical Sciences, Professor

Valery Vikentyevich Shilov³, Associate Professor at the Department of Environmental Medicine and Radiobiology, Candidate of Biological Sciences

