

торов среды обитания. – Введ. 01.03.2021. – 493 с.

2. Rice, E.W. Standard methods for the examination of water and wastewater, 23rd Edition /E.W. Rice, R.B. Baird, A.D. Eaton. - American Public Health Association, 2017. – 40 p.

<https://doi.org/10.2105/SMWW.2882.216>

3. Liu, Y. et al. Deep learning-assisted colorimetric detection of nitrite in environmental water samples// Analytical Chemistry, 2022. – 94(15) – P.6142–6149

<https://doi.org/10.1021/acs.analchem.2c00327>

4. Сатуров А.С. Квалиметрический подход и статистические методы в управлении качеством атмосферного воздуха /А.С. Сатуров, Н.В. Маслова, Н.Н. Попова // В сборнике: Актуальные проблемы менеджмента качества, стандартизации и метрологии. Сборник докладов X Всероссийской научно-практической Интернет-конференции. – Белгород, 2025. – С. 280–284.

УДК 664.123.6

М. В. Рымовская, канд. техн. наук, доц. (БГТУ, Минск);

Е. А. Семёнова инж.-техн. (РУП «Белмедпрепараты», Минск);

И. А. Яковлев, студ., Д. С. Матусков, студ. (БГТУ, г. Минск)

СПОСОБ ПОЛУЧЕНИЯ ВОДОРАСТВОРИМОГО ПЕКТИНАТА КАЛЬЦИЯ ИЗ СВЕКЛОВИЧНОГО ЖОМА

Важную роль в организации сбалансированного питания имеют баланс макро- и микроэлементов, незаменимых аминокислот, витаминов, пищевых волокон (трудноперевариваемых полисахаридов растительного происхождения). Особый интерес вызывают растворимые в воде пищевые волокна (пектины, камеди, декстраны, слизи), поскольку они обладают большой влагоемкостью и образуют гели, работают более мягко. Для получения пектина используют отходы пищевых производств – яблочные выжимки, цитрусовую пульпу, свекловичный жом. Средняя молекулярная масса и степень этерификации (метилирования) свекловичного пектина меньше, чем у яблочного и цитрусового пектинов, что обуславливает связывание с его кислотными группами большего количества катионов, и потому – исключительные комплексообразующие свойства этого пектина. При потреблении пектинов может наблюдаться выведение как избытка тяжелых металлов, так и макроэлементов – магния, кальция, натрия, калия.

Для предупреждения этого явления более рациональна модификация свекловичного пектина с получением его катионных солей с макроэлементами [1], причем предпочтительна хорошая раствори-

мость в воде таких солей.

Цель работы – разработка технологии получения водорастворимых кальциевых солей свекловичного пектина.

В качестве объекта исследования использовали образцы пектинов, полученные из свекловичного жома (ОАО «Городейский сахарный комбинат», г.п. Городея, Минская область, РБ) путем проведения гидролиза-экстракции растворами лимонной кислоты с концентрацией в реакционной смеси 0,2–0,8 моль/дм³ при температуре 85–95°C и времени выдержки 1–3 ч. Для выделения из реакционной смеси свекловичного пектина нами использовался этанол, вносимый до концентрации в реакционной смеси 70% об. Содержание водно-спиртовой фазы в образцах влажного пектина составляло 94–86% масс.

Основными стадиями технологии получения катионных солей пектина в известных технологических процессах являются подготовка раствора пектина, подготовка раствора хорошо растворимой кальциевой соли, проведение реакции деэтерификации пектина с получением пектатов натрия или аммония, проведение реакции ионного обмена, при которой катионы кальция присоединяются к ацетильным группам пектина с образованием кальциевых солей свекловичного пектина, выделение и очистка водорастворимых кальциевых солей свекловичного пектина. Важное значение имеет отсутствие в перерабатываемом пектине низкомолекулярных примесей. При извлечении свекловичного пектина из свекловичного жома использовалась лимонная кислота. Для удаления ее из пектина мы использовали отмывку 96%-ным этанолом, также можно порекомендовать использование диаультраfiltrации через мембраны с диаметром отсечки 10–15 кДа.

Подготовка раствора свекловичного пектина заключалась в растворении его до получения гомогенного раствора, предельная концентрация его составила 1,2% масс. В качестве хорошо растворимой кальциевой соли использовали хлорид кальция, готовили раствор с концентрацией 5% масс. В рекомендациях многих авторов подготовка пектина к получению кальциевых солей включает этап проведения реакции деэтерификации пектина с получением пектатов натрия или аммония. Однако в результате проведенных экспериментов мы выяснили, что выход растворимых в воде кальциевых солей свекловичного пектина больше, если стадию деэтерификации не проводить, поэтому было решено ее из технологического процесса исключить.

Свекловичный пектина относится к пектинам с низкой степенью этерификации, поэтому одним из его свойств является гелеобразование в присутствии солей кальция [1]. Изучение реакции ионного обмена, при которой катионы кальция присоединяются к ацетильным группам пектина с образованием пектинатов кальция, показало, что

добавление к раствору хлорида кальция раствора пектина протекает с менее выраженным увеличением вязкости смеси, что облегчает перемешивание и транспортирование реакционной смеси. Внесение раствора пектина должно происходить медленно, при интенсивном перемешивании, предпочтительная температура для снижения вязкости смеси – 40°C. В [2] для интенсификации смешения предложено использовать роторно-пульсационный аппарат. Нами показано, что присутствие этанола в водно-спиртовой фазе при проведении реакции ионного обмена приводит к снижению доли образующегося водорастворимого пектината кальция. Для нивелирования этого фактора надо приготовление раствора пектина перед проведением реакции ионного обмена проводить при повышенной температуре (40-50°C), достойной альтернативой будет также проведение выделения и очистки пектина с использованием диаультраfiltrации, упомянутой выше. В [3] показано, что эффективность процесса диаультраfiltrации реакционной смеси при получении свекловичного пектина улучшается с увеличением числа циклов при одинаковом расходе воды и повышении температуры растворов пектина.

Выделение и очистку водорастворимых кальциевых солей свекловичного пектина проводили следующим образом: нейтрализовывали реакционную смесь до рН 6–7, охлаждали до 4–6°C и выдерживали в течение 12 ч, отделяли осадок нерастворимых в воде пектинатов кальция фильтрованием, в фильтрат вносили этанол до концентрации в реакционной смеси 70% об., смесь охлаждали до 4–6°C и выдерживали в течение 12 ч, выпавший осадок водорастворимых пектинатов кальция отделяли фильтрованием и высушивали в сублимационной сушилке. С использованием ИК-спектров ВПСа и НПСа рассчитано отношение числа ионизированных (связанных с кальцием) карбоксильных групп к числу неионизированных (непрореагировавших с кальцием) карбоксильных групп. Показано, что доля ионизированных карбоксильных групп у водорастворимых пектинатов кальция меньше, чем у нерастворимых в воде, соотношение ионизированных карбоксильных групп и непрореагировавших примерно 1:1 [4].

Органолептические характеристики (вкус и цвет) и измельчаемость образцов ВПСа лучше, чем образцов НПСа. Отметим, что измельчаемость лиофильно высушенных образцов свекловичного пектина лучше, чем образцов ВПСа. Все образцы водорастворимого пектината кальция безвкусные, напоминают муку. Степень высвобождения ионов кальция в водную среду при 500-кратном избытке воды в нейтральной среде составляет 13%, в кислой среде – 29% от общего числа ранее связанных. Оценка сорбционной емкости свекловичного пектина и полученного из него ВПСа по катионам свинца (II) показана

ла, что степень замещения водорода ацетильной группы катионом тяжелого металла сопоставима и составляет 0,85 и 0,89 мольэкв. Pb^{2+} /мольэкв. H^+ соответственно.

Таким образом, на основании результатов исследования предложена схема получения водорастворимых кальциевых солей свекловичного пектина, включающая стадии очистки пектина диаультрафильтрацией, приготовления 1% раствора пектина и 5% раствора хлорида кальция, проведения реакции с обратным порядком добавления реагентов и интенсивным смешением растворов пектина и соли кальция в роторно-пульсационном аппарате, нейтрализации реакционной смеси, отделения нерастворимого в воде пектината кальция центрифугированием, очистки водорастворимого пектината кальция с использованием диаультрафильтрации, лиофильной сушки. Предложенный нами способ получения водорастворимых катионных солей пектина близок к изложенному в [2] и [5], но позволяет уменьшить число стадий без использования дополнительных реагентов, фракционировать пектинаты кальция путем отделения фракции нерастворимых в воде пектинатов кальция.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пектины из нетрадиционных источников: технология, структура, свойства и биологическая активность / С. Т. Минзанова [и др.]. – Казань: Изд-во «Печать Сервис XXI век», 2011. – 224 с.
2. Патент № RU107522U1 МПК C08B37/00. Линия производства металло-комплексов пектина; № 2011109271/13; заявл. 11.03.2011; опубл. 20.08.2011/ Минзанова С.Т., Миронов В.Ф., Миронова Л.Г., Выштакалюк А.Б., Цепяева О.В. – 14 с.
3. Диаультрафильтрационное концентрирование и очистка пектиновых полисахаридов / Мухидинов З.К. // Известия Вузов. Химия и химическая технология. – 2011. – Т. 54. № 2. – С. 121–125.
4. Семенова, Е.А. Технологические решения при получении пектинатов из свекловичного пектина / Е.А. Семенова / 76-я научно-техническая конференция учащихся, студентов и магистрантов : тезисы докладов: в 4-х ч. – Минск: БГТУ, 2025 г. [Электронный ресурс] – Ч. 2. – С. 13.
5. Патент DE 102020122505, МПК C08B 37/06 (2006.01), C11D 3/16 (2006.01). Calciumpektinat: № 102020122505 : заявлено 28.08.2020; опубликовано 03.02.2022 / Gerhard F. Fox, Christine Rentschler; заявители: Herbstreith & Fox GmbH & Co. KG Pektin-Fabriken. – URL: <https://patents.google.com/patent/DE102020122505A1> (дата обращения: 07.02.2026).