

OPTIMIZATION OF PECTIN EXTRACTION FROM SUGAR BEET PULP USING MICROWAVE TREATMENT

A.K. Zharmagambetova¹, S.N. Akhmetova^{1,2*}, A.S. Auyezkhanova¹,
A.M. Kenzheyeva^{1,2}, G.I. Dzhardimalieva³

¹«D.V. Sokolsky Institute of Fuel, Catalysis and Electrochemistry» JSC, Almaty, Kazakhstan

²Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan

³The Federal Research Center of Problems of Chemical Physics and Medicinal Chemistry RAS,
Chernogolovka, Russian

*E-mail: sn.akhmetova@mail.ru

Abstract: *Introduction.* Pectin is a natural heteropolysaccharide contained in plant cell walls and plant waste. In recent years, various alternative methods (enzymatic, microwave, ultrasonic) have been used to increase the yield of pectin, which can increase the efficiency of the process, pectin yield and improve quality. The principal advantages of using microwaves for the extraction of pectin from plant waste materials are the significant reduction in processing time, the higher yield of the natural polymer and the quality maintenance due to the more gentle processing conditions. *The purpose of the work* is to improve the method of pectin extraction from beet pulp using microwave treatment. Experiments were carried out to establish the optimal conditions of polysaccharide extraction. The pectin extraction was optimized by varying the microwave power, the pH of the medium, the processing time, the type of extracting agent (citric, malic, hydrochloric and acetic acids) and the ratio of beet pulp to extracting agent. A titrimetric method was used to determine the degree of esterification and the uronide component. *Results and discussion.* Extraction of pectin from sugar beet pulp includes the following main steps: polymer extraction by microwave treatment, pectin purification and drying. Among the studied parameters, the ratio of beet pulp to extracting agent and microwave processing time had a significant effect on the yield and properties of pectin. The highest yield of pectin (5.7%) was achieved at a heating power of 520 W, pH - 2.0, processing time of 30 minutes, using citric acid as the extraction agent and a beet pulp to extraction agent mass ratio of 15:1. IR spectra of the extracted pectin show the presence of characteristic bands typical of the pectin spectrum. *Conclusions.* Varying the parameters of pectin extraction from sugar beet pulp using microwave treatment allowed to increase the yield of pectin with desired characteristics. The perspective of using ecologically pure organic acids (citric and malic acids) as an extracting agent is shown.

Key words: pectin, polysaccharide, polymer, extraction, microwave processing, sugar beet pulp, extractant, uronide component, degree of esterification, yield of pectin.

Citation: Zharmagambetova A.K., Akhmetova S.N., Auyezkhanova A.S., Kenzheyeva A.M., Dzhardimalieva G.I. Optimization of pectin extraction from sugar beet pulp using microwave treatment. *Chem. J. Kaz.*, 2024, 3(87), 103-113. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.51580/2024-3.2710-1185.36>

<i>Zharmagambetova Alima Kainekeyevna</i>	<i>Professor, doctor of Chemical Sciences, Chief Researcher; E-mail: zhalima@mail.ru</i>
<i>Akhmetova Sandugash Nurbolkyz</i>	<i>Master of Science in chemistry, PhD, Junior Researcher; E-mail: sn.akhmetova@mail.ru</i>
<i>Auyezkhanova Assemgul Seitkhanovna</i>	<i>Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor, Leading Researcher; E-mail: a.assemgul@mail.ru</i>
<i>Kenzheyeva Alima Muratovna</i>	<i>PhD, Leading Engineer; E-mail: fishka_jan@mail.ru</i>
<i>Dzhardimalieva Gulzhian Iskakovna</i>	<i>Professor, Doctor of Chemical Sciences, Head of Laboratory; E-mail: dzhardim@icp.ac.ru</i>

ОПТИМИЗАЦИЯ ЭКСТРАКЦИИ ПЕКТИНА ИЗ СВЕКЛОВОЧНОГО ЖОМА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОВОЛНОВОЙ ОБРАБОТКИ

А.К. Жармагамбетова¹, С.Н. Ахметова^{1,2}, А.С. Ауезханова¹,
А.М. Кенжеева^{1,2}, Г.И. Джардималиева³*

¹АО «Институт топлива, катализа и электрохимии им. Д.В. Сокольского», Алматы, Казахстан

²Казахский Национальный педагогический университет им. Абая, Алматы, Казахстан

³Федеральный исследовательский центр проблем химической физики и медицинской химии РАН, г.Черноголовка, Россия

*E-mail: sn.akhmetova@mail.ru

Резюме: *Введение.* Пектин – это природный сложный гетерополисахарид, который содержится в клеточных стенках растений и растительных отходах. В последние годы для увеличения выхода пектина применяются различные альтернативные методы (ферментативный, микроволновый, ультразвуковой), которые позволяют повысить эффективность процесса, увеличить выход и улучшить качество. К основным преимуществам применения микроволновой обработки для выделения пектина из растительного сырья относятся значительное сокращение времени процесса, увеличение выхода полимера и сохранение его качества благодаря более мягким условиям обработки. *Цель работы* – усовершенствование метода экстракции пектина из свекловичного жома с применением микроволновой обработки. Проведены эксперименты по установлению оптимальных условий экстракции полисахарида. Оптимизация процесса выделения пектина осуществлялась на основе варьирования следующих параметров: мощность микроволнового излучения, pH среды, время обработки, природа гидролизующего экстрагента (лимонная, яблочная, соляная и уксусная кислоты) и соотношение массы жома к экстрагенту. Для определения степени этерификации и уронидной составляющей использовался титриметрический метод. *Результаты и обсуждение.* Экстракция пектина из жома сахарной свеклы включает следующие основные этапы: экстракция полимера микроволновой обработкой, очистка пектина и сушка. Среди изученных параметров значительное влияние на выход и свойства пектина оказали соотношение исходного сырья и экстрагента и время микроволновой обработки. Наиболее высокий выход пектина (5.7%) был достигнут при мощности микроволновой обработки 520 Вт, pH – 2.0, времени обработки 30 минут, использовании лимонной кислоты в качестве экстрагента и соотношении массы свекловичного жома к экстрагенту 15:1. ИК-спектры экстрагированного пектина свидетельствуют о присутствии характерных полос, типичных для спектра пектина. *Выводы.* Варьирование параметров экстракции пектина из жома сахарной свеклы с применением микроволновой обработки позволило увеличить выход пектина с желеаемыми характеристиками. Показана перспективность применения в качестве экстрагирующего агента экологически чистых органических кислот (лимонная и яблочная кислоты).

Ключевые слова: пектин, полисахарид, полимер, экстракция, микроволновая обработка, жом сахарной свеклы, экстрагент, уронидная составляющая, степень этерификации, выход пектина.

<i>Жармагамбетова Алима Кайнекеевна</i>	<i>Профессор, доктор химических наук, главный научный сотрудник</i>
<i>Ахметова Сандугаиш Нурболловна</i>	<i>Магистр химических наук, PhD докторант, младший научный сотрудник</i>
<i>Ауезханова Асемгуль Сейтхановна</i>	<i>Кандидат химических наук, доцент, ведущий научный сотрудник</i>
<i>Кенжеева Алима Муратовна</i>	<i>PhD докторант, ведущий инженер</i>
<i>Джардималиева Гульжиян Искаковна</i>	<i>Профессор, доктор химических наук, заведующий лабораторией</i>

1. Введение

Пектины – это природные полисахариды, содержащиеся в клеточных стенках растений и в большом количестве присутствующие в растительных отходах [1,2]. Их состав и структура сильно зависят от источника пектина, стадий и условий экстракции и др. [1]. В промышленных масштабах около 85% пектина извлекается из кожуры цитрусовых и выжимки яблок, которые характеризуются высоким содержанием пектина (18-30%) и являются доступными в виде сельскохозяйственных отходов [3]. В качестве альтернативных источников пектина считаются жом сахарной свеклы, головки семян подсолнечника, манго, бананы, грейпфрут и т.д. [4,5]. Пектин играет важную роль в поддержании структуры растительных клеток и имеет широкое применение в различных отраслях промышленности, особенно в пищевой и фармацевтической индустрии, благодаря своим желирующим и стабилизирующим свойствам [3].

Экстракция пектина из растительных источников с применением различных методов является важным этапом промышленного применения [6]. Этот процесс позволяет достичь необходимых характеристик, таких как степень желирования, вязкость и молекулярная масса, что важно для производства различных продуктов. Традиционные методы экстракции пектина включают обработку растительного сырья водными или кислотными растворами при повышенной температуре и давлении. Затем полученный раствор фильтруется для удаления остатков растительных клеток, а пектин осаждается путем добавления специальных осадителей, таких как спирт [7]. Недостатком данных методов выделения полисахарида являются потеря активных компонентов и качества продукта, его загрязнение остатками растворителей и добавок, вследствие этого могут потребоваться дополнительные затраты на очистку.

В связи с вышенаписанным, исследователи рассматривают новые способы выделения пектина, такие как ультразвуковая и микроволновая экстракция, ферментативный катализ, а также гибридная экстракция, включающая интеграцию двух или более методов, что, в свою очередь, позволяет увеличить выход пектина и улучшить его физико-химические свойства [8]. Одним из перспективных методов экстракции является применение микроволновой обработки [1,4]. Микроволновая обработка пектина включает использование электромагнитных волн высокой частоты,

которые способствуют быстрому разрушению клеточных стенок растений, что упрощает экстракцию пектина из растительного сырья. К преимуществам данного метода можно отнести высокую скорость обработки, эффективное использование энергии и сохранение качества пектина.

В предлагаемом исследовании представлены данные по экстракции пектина из свекловичного жома с применением микроволновой обработки и установлению оптимальных параметров процесса выделения (мощность микроволновой обработки, природа экстрагирующего агента, рН среды, длительность экстракции, соотношение массы жома сахарной свеклы и экстрагента).

2. Экспериментальная часть

Для получения пектина использовали жом сахарной свеклы (сорт Эйдер, Жамбылская область, с. Мынказан). Для микроволновой обработки использовали бытовую микроволновую печь марки Daewoo KOG-8465, Корея.

Экстракцию пектина из жома сахарной свеклы проводили следующим способом: жом, массой 3 грамма смешивали с раствором лимонной кислоты (150 мл) и обрабатывали в микроволновой печи в течение заданного времени (от 1 до 60 минут). Полученный экстракт пектина выделяли из предварительно нейтрализованного раствора (1% гидроксида натрия) с использованием прибора рН-150МИ, осаждая этанолом (90°C) и сушили при 24°C в течение суток. Затем полученный пектин размалывали с помощью измельчительной мельницы фирмы Stegler, модель LM-500.

Для определения степени этерификации и уронидной составляющей использовался титриметрический метод, основанный на определении количества свободных карбоксильных групп полигалактуроновой кислоты после омыления. Расчет степени этерификации и уронидной составляющей пектина проводили по методу, описанному в работе [9].

3. Результаты и обсуждение

Экстракция пектина из жома сахарной свеклы включает следующие основные этапы: экстракция пектина микроволновой обработкой, очистка пектина и сушка. Общая схема извлечения пектина из жома сахарной свеклы представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 – Основные этапы извлечения пектина из жома сахарной свеклы

Выход пектина, степень этерификации и доля уронидной составляющей являются важными параметрами экстракции пектина. Степень этерификации (СЭ) обуславливает особые свойства (стабильность, вязкость, гелеобразование, прочность и т.д.), функциональные возможности пектина и сферы его использования [4]. Уронидная составляющая (УС) определяет состав пектинов и их сорбционную активность. Высокое значение УС указывает на высокие протекторные свойства пектинов [4].

С целью определения оптимальных параметров экстракции пектина было изучено влияние мощности микроволновой обработки свекловичного жома (520 Вт, 720 Вт и 900 Вт), концентрации лимонной кислоты (рН: 1.5; 1.8; 2.0; 2.5), времени экстракции (2, 15, 30, 60 минут), природы экстрагента (лимонная, уксусная, яблочная и соляная кислоты), соотношения массы жома и оптимального экстрагирующего агента на выход и характеристики пектина.

Результаты исследования по изменению мощности микроволновой обработки свекловичного жома показали, что наиболее высокий выход полисахарида (3.3%) достигается при мощности нагрева 520 Вт в течении 2 минут, при этом степень этерификации составила 64.3%. При повышении мощности до 900 Вт наблюдается значительное снижение выхода пектина до 1.8%. При увеличении мощности микроволн происходит деструкция пектина, что согласуется с литературными данными [10]. Следует отметить, что степень этерификации увеличивается при 725 Вт до 70.1% и при 900 Вт до 90.0%. Максимальное значение уронидной составляющей (42.1%) было получено при 520 Вт.

Как показано в таблице 1, изменение мощности микроволновой обработки значительно влияет на СЭ, которая увеличивается с 64% до 90%. При варьировании мощности микроволновой обработки доля уронидной составляющей варьирует в пределах 18.9-42.1%. Для сравнения был исследован свекловичный жом без микроволновой обработки. В этом случае выход пектина составил 2.8%, при степени этерификации и доли уронидной составляющей 71.8% и 29.7%, соответственно. Наибольший выход пектина (3.3%) и высокое значение уронидной составляющей (42.1%) достигается при мощности 520 Вт и продолжительности процесса 2 мин.

Таблица 1 – Влияние условий микроволновой обработки свекловичного жома на выход и свойства экстрагированного пектина

Мощность микроволновой обработки, Вт	Время микроволновой обработки, мин	Выход пектина, %	Степень этерификации, %	Доля уронидной составляющей, %
520	2	3.3	64.3	42.1
725		3.2	70.1	35.4
900		1.8	90.0	18.9
Без микроволновой обработки		2.8	71.8	29.7

Примечание: свекловичный жом – 3 г, гидролизующий экстрагент – лимонная кислота, рН – 2.0, время экстракции – 2 мин, мощность микроволновой обработки – 520 Вт, 725 Вт, 900 Вт.

Для выявления воздействия кислотности среды на выход пектина процесс экстракции проводили при значениях рН: 1.5; 1.8; 2.0; 2.5 (таблица 2). Как показали эксперименты, рН среда в незначительной степени оказывает влияние на экстракцию пектина и его характеристики. Благоприятной средой для экстракции пектина является рН 1.8 и 2.0. В свою очередь, при рН 2.5, видимо, имеет место более интенсивное разрушение полисахарида, вследствие чего были обнаружены лишь его следы.

Таблица 2 – Влияние рН среды на выход и свойства выделенного пектина

Мощность микроволновой обработки, Вт	рН	Выход пектина, %	Степень этерификации, %	Доля уронидной составляющей, %
520	1.5	2.6	63.6	54.3
	1.8	3.0	72.6	58.5
	2.0	3.3	64.3	42.1
	2.5	не выделился		
<i>Примечание: свекловичный жом – 3 г, экстрагирующий агент – лимонная кислота, рН – 1.5; 1.8; 2.0; 2.5, мощность микроволновой обработки – 520 Вт, время экстракции – 2 мин.</i>				

В дальнейших исследованиях для определения природы оптимального экстрагирующего агента процесс экстракции проводили в лимонной, яблочной, соляной и уксусной кислотах. Наилучший выход (3.3%) полисахарида был получен при использовании лимонной кислоты, а экстрагированный пектин имел степень этерификации 64.3% (таблица 3). Высокая эффективность лимонной кислоты в сравнении с минеральными кислотами при идентичных условиях подтверждается в работах [11,12]. Меньшие выходы достигаются при применении яблочной и уксусной кислот: 3.0 и 2.0%, соответственно. Наименее эффективна в данном процессе уксусная кислота, выход пектина – 1.2%.

Таблица 3 – Влияние природы экстрагирующего агента на выход и характеристики пектина, выделенного из жома сахарной свеклы

Экстрагирующий агент	Выход пектина, %	Степень этерификации, %	Доля уронидной составляющей, %
Лимонная кислота	3.3	64.3	42.1
Яблочная кислота	3.0	61.8	36.2
Уксусная кислота	1.2	71.4	36.2
Соляная кислота	2.0	77.3	40.5
<i>Примечание: свекловичный жом – 3 г, экстрагирующий агент – лимонная, яблочная, уксусная, соляная кислоты, мощность микроволновой обработки – 520 Вт, рН – 2.0, время экстракции – 2 мин.</i>			

При варьировании времени экстракции от 2 мин до 30 мин происходит увеличение выхода пектина. При 60 мин наблюдается снижение выхода

полисахарида. Увеличение выхода пектина до 4.1% достигнуто при проведении процесса в течении 30 минут. Более длительная обработка по-видимому, способствует деструкции молекул полимерной цепи, снижая выход пектина [13]. Вместе с тем при непродолжительной обработке (2 мин) образование целевого полисахарида снижается, вероятно, из-за незавершенности процесса гидролиза.

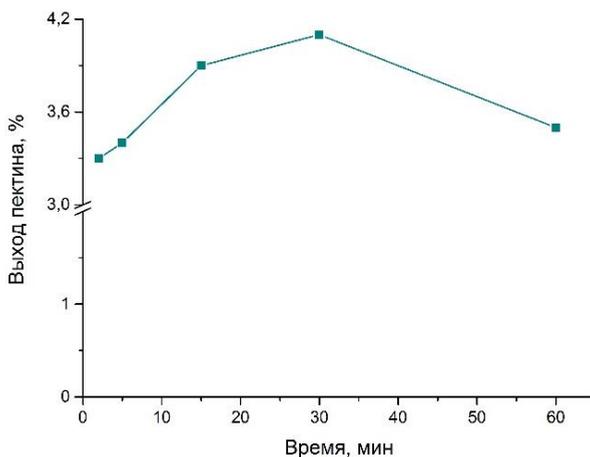


Рисунок 2 – Зависимость выхода пектина от времени микроволновой обработки жома

Определение оптимального количества вводимого экстрагента и массы исходного сырья (жома сахарной свеклы) проводили при следующих соотношениях массы жома и экстрагента: 3:1, 6:1, 10:1, 15:1, 20:1, 30:1. Максимальный выход пектина был достигнут при соотношении 15:1 (5.7%), минимальный - при соотношении 3:1 (3.3%), степень этерификации составляла, соответственно, 54.3% и 45.8% (таблица 4). Следует отметить, что при изменении соотношений массы жома и экстрагента было достигнуто увеличение доли уронидной составляющей с 79.8% до 89.6% (при 10:1).

Таблица 4 – Влияние соотношения массы жома сахарной свеклы и экстрагента (лимонной кислоты) на выход и свойства экстрагированного пектина

Соотношение, масса жома:экстрагента	Выход пектина, %	Степень этерификации, %	Доля уронидной составляющей, %
3:1	3.3	45.8	79.8
5:1	3.6	51.8	85.2
10:1	4.8	61.4	89.6
15:1	5.7	54.3	80.2
20:1	5.5	56.6	83.5
30:1	4.9	50.5	78.1

Примечание: Мощность микроволновой обработки – 520 Вт, pH – 2,0, время экстракции – 30 мин, экстрагирующий агент – лимонная кислота, соотношение массы жома и экстрагента – 3:1; 5:1; 10:1; 15:1; 20:1; 30:1.

Экстрагированный пектин был исследован методом ИК-спектроскопии (рисунок 3). ИК-спектры выделенного пектина содержат характерные полосы, типичные для спектра пектина [14]. Так, широкая полоса при 3433 см^{-1} демонстрирует валентные колебания гидроксильных групп, которые относятся к водородной связи. Полосы поглощения при 2937 см^{-1} и 2837 см^{-1} соответствуют асимметричным и симметричным валентным колебаниям -СН- групп. Кроме того, слабые сигналы типичных для полисахарида полос, появившиеся при 1619 и 1742 см^{-1} , обусловлены карбоксильными и эфирными карбонильными группами, соответственно [15]. Область $1200\text{--}1400\text{ см}^{-1}$ типичны деформационным колебаниям С-Н и О-Н связей, а полосы в диапазоне $1000\text{--}1200\text{ см}^{-1}$ относятся к валентным колебаниям СН-ОН, С-О-С и С-С связей в пиранозных кольцах. Полосы в области $800\text{--}900\text{ см}^{-1}$ характерны для 1-4 типов гликозидной связи.

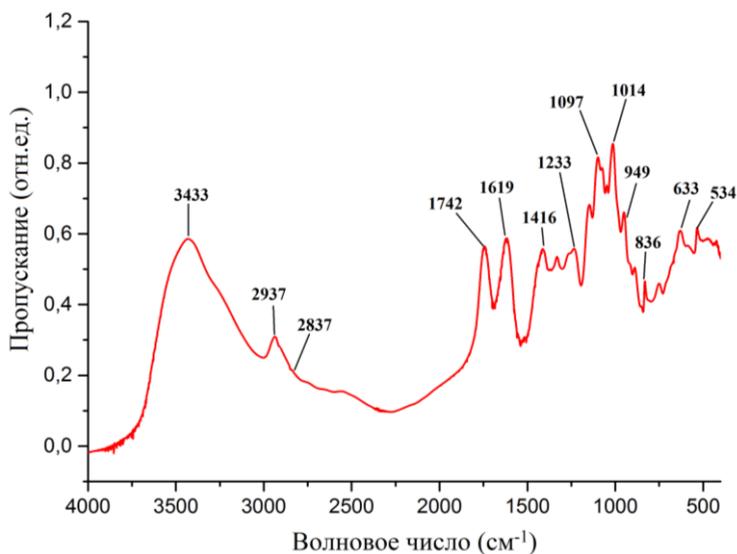


Рисунок 3 – ИК-спектроскопия экстрагированного пектина.

4. Заключение

Для экстракции пектина из жома сахарной свеклы был применен метод микроволновой обработки. Проведены эксперименты по оптимизации условий экстракции. Варьирование параметров экстракции пектина с применением микроволновой обработки позволило достичь увеличение выхода пектина с желаемыми характеристиками. Среди изученных параметров на выход и характеристики пектина значительно повлияли соотношение исходного сырья и экстрагента, а также длительность микроволновой обработки. Оптимальными условиями экстракции пектина являются: мощность микроволновой обработки – 520 Вт, рН – 2.0, время экстракции – 30 мин, соотношение массы свекловичного жома и экстрагента

15:1. Выход пектина составил 5.7%. Таким образом, результаты исследований показали, что метод микроволновой обработки обладает большим потенциалом для эффективного извлечения пектина из свежловичного жома.

Финансирование: Данная работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (Грант No AP19678287).

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ҚЫЗЫЛША СЫҒЫНДЫСЫНАН МИКРОТОЛҚЫНДЫ ӨНДЕУ АРҚЫЛЫ ПЕКТИНДІ АЛУ ПРОЦЕСІН ОҢТАЙЛАНДЫРУ

А.К. Жармағамбетова¹, С.Н. Ахметова^{1,2}, Ауезханова А.С.¹,
А.М. Кенжеева^{1,2}, Г.И. Джардималиева³*

¹«Д.В. Сокольский атындағы жанармай, катализ және электрохимия институты» АҚ, Алматы, Қазақстан

²Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан

³Химиялық физика және медициналық химия мәселелерінің Федералдық ғылыми орталығы РФА, Черноголовка, Ресей

*E-mail: sn.akhmetova@mail.ru

Түйіндеме. *Kіріспе.* Пектин – өсімдік жасушаларының қабырғаларында және өсімдік қалдықтарында кездесетін табиғи гетерополисахарид. Соңғы жылдары пектиннің шығымдылығын арттыру үшін әртүрлі балама әдістер (ферментативті, микротолқынды, ультрадыбыстық) қолданылды, бұл процестің тиімділігін, пектиннің шығымдылығын арттыруға және сапасын жақсартуға мүмкіндік береді. Өсімдік қалдықтарынан пектинді алу үшін микротолқынды пештерді пайдаланудың негізгі артықшылықтары өндеу уақытының айтарлықтай қысқаруы, табиғи полимердің жоғары шығымдылығы және өндеудің неғұрлым жұмсақ жағдайларына байланысты сапаны сақтау болып табылады. *Жұмыстың мақсаты* – микротолқынды өндеуді қолдана отырып, қант қызылшасының сығындысынан пектинді алу әдісін жетілдіру. Полисахаридтерді алудың оңтайлы жағдайларын анықтау бойынша тәжірибелер жүргізілді. Пектинді алу микротолқынды пештің қуатын, ортаның рН деңгейін, өндеу уақытын, экстрагент түрін (лимон, алма, тұз және сірке қышқылдары) және қант қызылша сығындысының экстракция агентіне қатынасын өзгерту арқылы оңтайландырылды. Этерификация дәрежесін және уронид компонентін анықтау үшін титриметриялық әдіс қолданылды. *Нәтижелер мен пікірталас.* Қант қызылшасының сығындысынан пектинді алу келесі негізгі параметрлерді қамтиды: микротолқынды пеште полимерді алу, пектинді тазарту және кептіру. Зерттелген параметрлердің ішінде қант қызылша сығындысының экстрагентке қатынасы және микротолқынды пеште өндеу уақыты пектиннің шығымдылығы мен қасиеттеріне айтарлықтай әсер етті. Пектиннің ең жоғары шығымы (5.7%), сәулелену қуаты 520 Вт, рН – 2.0, өндеу уақыты 30 минут, экстракция агенті ретінде лимон қышқылын және қант қызылша сығындысы мен экстрагент массасының қатынасын 15:1 кезінде қол жеткізілді. Алынған пектиннің ИҚ спектрлері пектин спектріне тән сипаттамалық жолақтардың болуын көрсетеді. *Қорытындылар.* Микротолқынды өндеуді қолдана отырып, қант қызылшасының сығындысынан пектинді алу параметрлерін өзгерту қажетті сипаттамалары бар пектиннің шығымдылығын арттыруға мүмкіндік берді. Экстрагент ретінде экологиялық таза органикалық қышқылдарды (лимон және алма қышқылдары) қолдану перспективасы көрсетілген.

Түйінді сөздер: пектин, полисахарид, полимер, экстракция, микротолқынды пеште өндеу, қант қызылша сығындысы, экстрагент, уронидтік компонент үлесі, этерификация дәрежесі, пектин шығымы.

<i>Жармагамбетова Алима Кайнекеевна</i>	<i>Профессор, химия ғылымдарының докторы, бас ғылыми қызметкер</i>
<i>Ахметова Сандуғаш Нурболовна</i>	<i>Химия ғылымдарының магистрі, PhD докторант, кіші ғылыми қызметкер</i>
<i>Әуезханова Әсемгуль Сейтханқызы</i>	<i>Химия ғылымдарының кандидаты, доцент, жетекші ғылыми қызметкер</i>
<i>Кенжеева Алима Мұратқызы</i>	<i>PhD докторант, жетекші инженер</i>
<i>Джардималиева Гульжан Искаковна</i>	<i>Профессор, химия ғылымдарының докторы, металлполимерлер зертханасының меңгерушісі</i>

References

1. Spinei M., Oroian M. Microwave-Assisted Extraction of Pectin from Grape Pomace. *Sci. Rep.*, **2022**, 12(1), 12722. DOI: [10.1038/s41598-022-16858-0](https://doi.org/10.1038/s41598-022-16858-0)
2. Picot-Allain M.C.N., Amiri-Rigi A., Abdoun-Ouallouche K., Aberkane L., Djefal-Kerrar A., Mahomoodally M.F., Emmambux M.N. Assessing the bioactivity, cytotoxicity, and rheological properties of pectin recovered from citrus peels. *Food Biosci.*, **2022**, Vol.46, 101550. DOI: [10.1016/j.fbio.2022.101550](https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101550)
3. Akhmetova S., Zharmagambetova A., Talgatov E., Auyezkhanova A., Malgazhdarova M., Zhurinov M., Abilmagzhanov A., Jumekeyeva A., Kenzheyeva A. How the Chemical Properties of Polysaccharides Make It Possible to Design Various Types of Organic–Inorganic Composites for Catalytic Applications. *Mol.*, **2024**, Vol.29(13), 3214. DOI: [10.3390/molecules29133214](https://doi.org/10.3390/molecules29133214)
4. Tran N.T.K., Nguyen V.B., Tran T.V., Nguyen T.T.T. Microwave-assisted extraction of pectin from jackfruit rags: Optimization, physicochemical properties and antibacterial activities. *Food Chem.*, **2023**, Vol.418, 135807. DOI: [10.1016/j.foodchem.2023.135807](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2023.135807)
5. Hu W., Cheng H., Wu D., Chen J., Ye X., Chen S. Enhanced extraction assisted by pressure and ultrasound for targeting RG-I enriched pectin from citrus peel wastes: A mechanistic study. *Food Hydrocoll.*, **2022**, Vol.133, 107778. DOI: [10.1016/j.foodhyd.2022.107778](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107778)
6. Kumar S., Reddy A. R. L., Basumatary I., Nayak A., Dutta D., Konwar J., Purkayastha M. D., Mukherjee A. Recent progress in pectin extraction and their applications in developing films and coatings for sustainable food packaging: A review. *Int. J. Biol. Macromol.*, **2023**, Vol.239, 124281. DOI: [10.1016/j.ijbiomac.2023.124281](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124281)
7. Colodel C., Petkowicz C. L. O. Acid extraction and physicochemical characterization of pectin from cubiu (*Solanum sessiliflorum* D.) fruit peel. *Food Hydrocoll.*, **2019**, Vol.86, 193–200. DOI: [10.1016/j.foodhyd.2018.06.013](https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.06.013)
8. Peighambaroust S.H., Jafarzadeh-Moghaddam M., Pateiro M., Lorenzo José M., Domínguez R. Physicochemical, thermal and rheological properties of pectin extracted from sugar beet pulp using subcritical water extraction process. *Mol.*, **2021**, Vol.26(5), 1413. DOI: [10.3390/molecules26051413](https://doi.org/10.3390/molecules26051413)
9. Auyezkhanova A. S., Zharmagambetova A. K., Talgatov E., Akhmetova S. N., Kapysheva U. N. Synthesis and protective properties of pectin/montmorillonite composites against aspirin-induced enterocolitis. *Per. Tchë Quim.*, **2020**, 17(35), 897–907. DOI: [10.52571/PTQ.v17.n35.2020.74](https://doi.org/10.52571/PTQ.v17.n35.2020.74)
10. Sarah M., Hanum F., Rizkyand M. Hisham M.F. Microwave-assisted extraction of pectin from cocoa peel. *International Conference on Agriculture, Environment, and Food Security*. Medan, **2018**, Vol.122, 1–7. DOI: [10.1088/1755-1315/122/1/012079](https://doi.org/10.1088/1755-1315/122/1/012079)
11. Chan Siew-Yin, Choo Wee-Sim. Effect of extraction conditions on the yield and chemical properties of pectin from cocoa husks. *Food Chem.*, **2013**, Vol.141(4), 3752–3758. DOI: [10.1016/j.foodchem.2013.06.097](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.06.097)
12. Maneerat N., Tangsuphoom N., Nitithamyong A. Effect of extraction condition on properties of pectin from banana peels and its function as fat replacer in salad cream. *J. Food Sci. Technol.*, **2017**, Vol.54, 386–397. DOI: [10.1007/s13197-016-2475-6](https://doi.org/10.1007/s13197-016-2475-6)

13. Zheng X., Yin F., Liu Ch., Xu X. Effect of Process Parameters of Microwave Assisted Extraction (MAE) on Polysaccharides Yield from Pumpkin. *J. Northeast Agric. Univ.*, **2011**, Vol.18, 79–86. DOI: [10.1016/S1006-8104\(12\)60014-2](https://doi.org/10.1016/S1006-8104(12)60014-2)
14. Jandosov J., Alavijeh M., Sultakhan Sh., Baimenov A., Bernardo M., Sakipova Z., Azat S., Lyubchik S., Zhylybayeva N., Naurzbayeva G., Mansurov Z., Mikhalovsky S., Berillo D. Activated Carbon/Pectin Composite Enterosorbent for Human Protection from Intoxication with Xenobiotics Pb(II) and Sodium Diclofenac. *Mol.*, **2022**, Vol.27(7), 2296. DOI: [10.3390/molecules27072296](https://doi.org/10.3390/molecules27072296)
15. Umoren S. A., Obot I. B., Madhankumar A., Gasem Z. M. Performance evaluation of pectin as ecofriendly corrosion inhibitor for X60 pipeline steel in acid medium: Experimental and theoretical approaches. *Carbohydr. Polym.*, **2015**, Vol.124, 280–291. DOI: [10.1016/j.carbpol.2015.02.036](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.02.036)