

В диссертационный совет 6D.КОА-050  
на базе Технологического университета  
Таджикистана 734061, г. Душанбе,  
ул. Н. Карабаева, 63/3

### О Т З Ы В

официального оппонента на диссертационную работу Икромии Хуршеда Икромии (Тешаева Хуршеда Икромовича) на тему: «Инновационные технологические процессы получения пектинов и их пищевых композитов с белками» по специальности 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств

**Актуальность работы.** Пектин – это природный биополимер, содержащийся в различных растительных тканях, таких как фрукты, овощи и некоторые морские водоросли. Это сложный полисахарид, состоящий из цепи остатков галактуроновой кислоты, который при определенных условиях может образовывать гель при соединении с сахаром, кислотой и ионами кальция. Это уникальное свойство пектина делает его полезным во многих различных областях фармацевтической и биотехнологической промышленности. Мировой рынок гидроколлоидов показывает, что пищевой и фармацевтический секторы являются основными потребительскими сегментами пектина, предлагая широкий спектр применений, таких как желирующие, стабилизирующие, загущающие, эмульгирующие и защищающие, цвет, агенты, а также выделяют его роль в качестве диетического продукта. Что касается пищевых продуктов, пектиновые ингредиенты нашли свое место в широком ассортименте обработанных пищевых продуктов, от мороженого до веганских жевательных конфет, и область их применения всё ещё расширяется.

Экстракция пектина – это многостадийный физико-химический процесс, в котором температура, pH, свойства растворителя, характеристики источника и продолжительность экстракции влияют на сольubilизацию пектина из тканей растений, его гидролиз и экстракцию. Традиционную кислотную экстракцию пектина проводят при повышенной температуре (50–100 °C) в течение 1-2 ч. Однако деградация пектина при кислотной экстракции, приводящая к потере его качества, и потенциальное воздействие стоков кислотной экстракции на окружающую среду стимулируют использование альтернативных устойчивых методов экстракции, таких как микроволновая обработка, ультразвуковая обработка, экстракция под высоким давлением и импульсным электрическим полем.

В этом плане актуальность диссертационной работы Икроми Хуршеда Икрома направлена на внедрение инновационных технологий переработки пектинсодержащих отходов, которые позволят производить из вторичного сырья продукцию соответствующего качества и с низкой себестоимостью.

Из данных автора вытекает, что в Республике Таджикистан достаточно сырьевых ресурсов для производства пектина, кроме того, он предлагает включение в производственный цикл и ценные биологически активные компоненты из побочных продуктов производства – клетчатку, олигосахариды и полифенольные вещества, которые обеспечат дополнительную прибыль.

Цель и поставленные задачи настоящей работы вполне соответствуют специальности 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств и направлены на: (1) разработку инновационных технологических процессов получения пектинов из различных источников растительного сырья; (2) оптимизацию параметров процесса гидролиз-экстракции пектиновых полисахаридов (ПП) для получения продуктов с оптимальными структурными параметрами и их применению в различных областях пищевой промышленности и биомедицине; (3) исследовании процессов комплексобразования различных пектинов с белками и разработку стабильных композитов для применения как носителей лекарственных веществ и пищевых ингредиентов.

**Степень обоснованности и достоверности основных научных положений, выводов и рекомендаций.** Сформулированные в диссертационном исследовании Икроми Х.И. научные положения обоснованы, выводы и рекомендации достоверны. Обоснованность полученных соискателем результатов и выводов основывается на согласованности данных эксперимента и научных выводов, а достоверность полученных результатов, не вызывающих сомнений, обеспечивается использованием современных средств и методик проведения исследований.

Основные результаты работы Икроми Х.И. широко апробированы на более чем 33 конференциях и симпозиумах, международного и республиканского уровня. Основное содержание диссертации опубликовано в 72 печатных работах: 37 статьях в изданиях, рекомендованных ВАК при Президенте Республики Таджикистан (из них 10 статей в журналах, индексируемых в международные базы данных (Web of Science, Scopus и иностранные издания); 2 малых патентах РТ; 28 тезисах докладов на международных конференциях, 5 тезисах докладов на республиканских конференциях.

В диссертационном исследовании автора нет противоречивых утверждений или выводов. Исходя из этого, научные положения, выводы и

рекомендации диссертационной работы следует считать обоснованными и заслуживающими доверия.

**Соответствие диссертации паспорту специальности.** Диссертация по своему содержанию и полученным результатам соответствует паспорту специальностей 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств (пункты 1-3), что мной проверено лично.

**Научная новизна работы:**

1. Разработаны новые способы гидролиза-экстракции пектинов из фруктовых выжимок и КП: флеш и динамический методы.

2. Предложена диа-ультрафильтрационная (ДУФ) очистка и концентрирование пектинового гидролизата. Доказано, на основе структурных данных и гидродинамических свойств полученных пектинов, что в отличии от известных, предлагаемый метод позволяет полностью очистить пектиновый гидролизат от нейтральных полисахаридов и других низкомолекулярных веществ делая качество пектина выше.

3. Научно обоснованы и предложены методы выделения концентрата лактоглобулинов (LgC) и лактозы из молочной сыворотки (МС) с использованием сочетания методов центрифугирования и ультрафильтрации (УФ), что позволит производить функциональные продукты, обогащённые комплексом необходимых биологически активных веществ.

4. Методом вискозиметрии и многоугольного лазерного светорассеивания (МУЛС) определены гидродинамические свойства пектинов. Установлено, что конформационные изменения пектиновых макромолекул существенно зависят от степени этерификации (СЭ) карбоксильных групп: с уменьшением СЭ происходит переход спиральной структуры в клубок, на ход процесса существенно влияет распределение свободных и этерифицированных групп.

5. Изучена гелеобразующая способность НМ-пектина и показано, что в присутствии поливалентных металлов, кроме кальция, происходят внутримолекулярные конформационные изменения с образованием димерных и полимерных агрегатов вплоть до фазового разделения высоко набухшего геля. Путем систематического анализа значений средней молекулярной массы ( $M_z$ ) найдена взаимосвязь степени агрегации молекул и показателя полидисперсности ( $M_z/M_w$ ,  $M_w$  – средневесовая молекулярная масса), что позволило впервые установить факторы, влияющие на прочность студней.

6. Применено инотропное гелеобразование пектинов в присутствии двухвалентных катионов с целью разработки условий получения комплексов на основе пектина и зеина с инкапсулированными лекарствами, устойчивыми к

действию среды желудка. Показано, что ионы  $Zn^{2+}$ , по сравнению с ионами  $Ca^{2+}$ , как сшивающие металлы, с пектином способствуют образованию более компактной структуры, что представляется важным при создании носителей лекарств стойких к преждевременному высвобождению ЛВ в верхней части ЖКТ;

7. Дана оценка кинетики высвобождения лекарства – пироксикама (РХ) из СДЛ в условиях, моделирующих ЖКТ, что позволило установить некоторые особенности кинетики данных систем. Доказано, что полученные комплексы способны подавлять набухание пектина в желудке и препятствовать разрушению лекарства в верхней части ЖКТ.

### **Оценка содержания диссертации, её завершенности.**

**Во введении** обосновывается актуальность темы, сформулированы цель и задачи диссертационной работы, научная новизна, ее теоретическая и практическая ценность, излагаются основные положения, вынесенные на защиту.

**Глава 1** представляет сведения о новых источниках получения ПП и технологических особенностях их традиционных методов производства, описание новых методов гидролиза-экстракции пектинов из различных источников, а также сведения о разработанных методах очистки и концентрирования пектиновых растворов с применением мембранной технологии, и некоторые общие подходы, связанные с переработкой сырья, которые позволят улучшить качество и снизить себестоимость целевого продукта.

**Глава 2** посвящена объектам и методам исследования, в которой приводятся описание методики, аппаратуры, материалов, объектов исследования и способов их подготовки.

**В главе 3** представлены результаты исследования, а в **главе 4** обсуждение полученных результатов.

Разработан новый способ гидролиз-экстракции ПП – флеш-способ. Применение данного способа позволяет сократить продолжительность процесса гидролиза-экстракции до нескольких минут и оптимизировать значение выхода продуктов распада ПП растительного сырья. Установлено, что для всех видов применяемого сырья, суммарный выход фракций продуктов распада при флеш-способе значительно превышает аналогичного показателя, полученного традиционным методом (ТМ). Также установлено, что применение флеш-способа несколько увеличивает молекулярную массу (ММ) по сравнению с аналогичными пектинами, полученными при помощи ТМ, практически не оказывая при этом существенного влияния на значение СЭ.

Разработан динамический метод получения пектинов. Данный метод способствует интенсификации процесса гидролиза ПП с контролируемым выходом и качеством конечного продукта. Результаты сравнения значений выхода фракций ПП с известным методом гидролиза в статическом режиме

показывают, что применение динамического метода положительно сказывается на численные значения выхода всех фракций полисахаридов, изолированных вместе с пектинами. Установлено, что ММ и гидродинамические параметры пектинов, полученных новым методом в динамике, позволяет устранить недостатки ТМ и получить качественный пектин с повышенной степенью чистоты.

Предложена мембранная технология очистки и концентрирования пектинового гидролизата. При применение сочетании диализа и УФ пектинового гидролизата было достигнута значительное увеличение скорости процесса. Нужно отметить, что диализ низкомолекулярных компонентов действительно способствуют процессу УФ концентрирования пектиновых гидролизатов, способен увеличить скорость фильтрации, снизить скорость осадкообразования.

Предложена применение тангенциального потока при ДУФ пектинового гидролизата. Фильтрация в тангенциальном потоке позволяет вести процесс фильтрации в непрерывном режиме, без блокирования пор мембраны, сохраняя стабильность производственного процесса. Установлены основные параметры процесса ТДУФ пектиновых растворов, полученных из пектинсодержащего сырья в зависимости от режимов процесса гидролиза, а также производительность и селективность выбранных мембран.

Проведена оценка качества пектина и изменение его структуры при очистке по спектрам ЯМР. Установлено, что применение комбинация 1D и 2D ЯМР-спектроскопии убедительно демонстрирует предпочтительность процесса ТДУФ по сравнению СО, удаляя из пектиновых растворов больше свободных примесей, которые отрицательно сказываются на качестве пектина.

Произведен расчёт экономической эффективности производства пектинов традиционным и инновационными методами. Сравнительный анализ расходов сырья, энергии и продолжительности производственного цикла получения пектина разными технологиями показывает, что общая стоимость расходов и сокращение производственного цикла предлагаемой технологии способствуют снижению себестоимости готового продукта.

Предложено математическое моделирование и оптимизация физико-химических параметров процесса гидролиз-экстракции пектина флеш-способом и процесса УФ-концентрирования и очистки пектиновых полисахаридов. На основе общей модели технологических процессов производства ПП разработана общая информационно-логическая модель технологии производства пектина из выжимок яблок флеш-способом. Предложена принципиальная схема управления технологическим процессом

производства и программа для возможного запуска промышленного производства пектина.

Предложены методы выделения LgC и лактозы из МС с использованием сочетания методов центрифугирования и УФ. Установлены оптимальные параметры проведения концентрирования белков МС. Показано, что на выход LgC оказывает влияние рН, температура и ММ компонентов МС.

Изучены процессы связывания и осаждения сывороточных белков НМ-пектином яблок. Проведенные исследования процессов связывания и осаждения сывороточных белков яблочным НМ-пектином показывают перспективность использования пектина и МС в качестве ценных биологических добавок, обладающих защитными и профилактическими свойствами.

Исследована полидисперсность макромолекул зеина с помощью турбидиметрического титрования с целью дальнейшего изучения и определения механизма их гелеобразования. Установлена, что метод турбидиметрического титрования может заменить такие дорогостоящие методы анализа ММР белков, как гель-хроматография, ультрацентрифугирование и светорассеяние.

Методами кондуктометрии, потенциометрии и вискозиметрии исследовано влияние структуры пектина, СЭ и типа этерификации на гелеобразование с поливалентными противоионами. Установлено, что максимум прочности геля при увеличении количества ионов кальция можно отнести к области, где ионы кальция находятся в равном соотношении с карбоксильными группами ПВ. При оценке качества гелей, помимо известных параметров, важно учитывать значение СЭ и полидисперсности  $M_z/M_w$ , которые показывают степень молекулярной агрегации, препятствующей студнеобразованию, независимо от структуры пектина.

Применено инотропное гелеобразование пектинов в присутствии двухвалентных катионов с целью разработки условий получения комплексов на основе пектина и зеина с инкапсулированными лекарствами, устойчивыми к действию среды желудка. Установлено, что на процесс комплексообразования и степень насыщения ЛВ влияют природа биополимеров, их пропорции, а также наличие и тип двухвалентного металла.

Исследована кинетика высвобождения пироксикама из пектин-зеиновых микросфер в условиях, имитирующих среду ЖКТ. Результаты исследований демонстрируют эффективность использования комплексов на основе природных биополимеров в качестве носителей лекарственных препаратов.

Проведены исследования для совершенствования технологии производства глюкозо-галактозного сиропа из МС. При оптимизации процесса ферментации пермеата МС  $\beta$ -галактозидазой были определены оптимальные условия гидролиза лактозы, в частности время проведения процесса составил 2 часа.

**Практическая ценность и использование результатов диссертационного исследования.** Автор по результатам, полученным в работе, рекомендует для широкого применения следующие разработки:

- флеш-способ и динамический способ гидролиз-экстракции пектинов;
- метод для очистки и концентрирования пектиновых гидролизатов;
- математическое моделирование для оптимизации физико-химических параметров отдельных процессов производства ПП в производстве;
- выделения LgC из МС с использованием процесса УФ разделения;
- ферментативный гидролиз лактозы УФ-пермиата МС;
- результаты исследований гелеобразующих свойств пектина с учетом влияющих факторов на прочность гелеобразования;
- результаты по разработке гидрогелиевых микросфер на основе пектина и зеина с инкапсулированным лекарством.

**Возникшие вопросы и замечания:**

1. Каков традиционный способ извлечения пектина, почему пектин осаждается спиртом, какова концентрация спиртового раствора?
2. Было бы лучше, если бы автор представил схему флеш-способа гидролиза-экстракции ПП под высоким давлением. За счёт чего и до какого значения создаётся давление в процессе?
3. Какой предварительной обработке подвергается измельчённая КП для интенсификации процессов диффузии полисахаридов?
4. Непонятно, почему автор диссертации называет метод получения пектина из КП динамическим?
5. Согласно паспорту специальности диссертант должен дать описание установки, в которой велась модернизация или принцип устройства новой установки.
6. При расчете экономической эффективности производства пектинов отсутствуют амортизационные расходы на оборудования.

Однако указанные замечания не снижают значение рецензируемой работы. Исследования, выполненные диссертантом, являются актуальными и значимыми для практики, их достоверность не вызывает сомнений.

**Заключение по диссертационной работе.** Оценивая уровень работы в целом, считаю, что диссертационная работа Икромии Х. И. «Инновационные технологические процессы получения пектинов и их пищевых композитов с белками» представляет собой законченное научное исследование на соискание ученой степени доктора технических наук, по своему содержанию и полученным результатам соответствует паспорту специальности 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств, отвечает всем требованиям Высшей аттестационной комиссии при Президенте Республики Таджикистан, предъявляемым к докторским диссертациям в соответствии с положением «Порядка присуждения учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства Республики Таджикистан от 30 июня 2021 г. № 267 (в редакции Постановления Правительства РТ от 26.06.2023 г. № 295), а ее автор Икромии Хуршед Икром заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств.

**Официальный оппонент**

доктор технических наук (05.18.12),  
профессор кафедры «Пищевая безопасность  
и технология производства функциональных  
продуктов» Химико-технологического института

Додаев Кучкор  
Одилович

18 июня 2024 г.

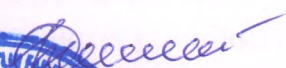
Адрес: Узбекистан, г. Ташкент, ул. Навои, 32

E-mail: [Dodoev@rambler.ru](mailto:Dodoev@rambler.ru), Тел.: + 998 93 392 46 61

Подпись д.т.н., профессора Додаева К.О. подтверждаю:

Проректор ТХТИ  
учебной работе



 д.т.н., проф. Сафаров Т.Т.