АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD)
по образовательной программе
8D07101 – «Технологические машины и оборудование»
Баядиловой Асыл Аргынгазыевны
Повышение эффективности экстракционного оборудования на основе разработки режимов извлечения ценных компонентов из виноградных отходов

Общая характеристика работы.

Диссертационная работа посвящена разработке экстракционного оборудования периодического действия с применением молекулярного водорода и обоснованию рациональных параметров извлечения биоактивных компонентов из виноградных отходов. Исследованы закономерности влияния давления молекулярного водорода, температуры и продолжительности процесса на общее содержание фенольных и флавоноидных компонентов, мономерных антоцианов и антиоксидантную активность экстрактов виноградной кожуры. Проведены математическое описание массопереноса, инженерное обоснование параметров оборудования и технико-экономическая оценка разработанного решения.

Актуальность темы исследования.

В соответствии с Концепцией развития агропромышленного комплекса Республики Казахстан на 2021–2030 годы одним из приоритетных направлений является повышение эффективности переработки сельскохозяйственного сырья и рациональное использование вторичных ресурсов. Виноградные выжимки, образующиеся при производстве винодельческой и соковой продукции, являются перспективным источником биоактивных компонентов, включая фенольные и флавоноидные компоненты, а также мономерные антоцианы. Однако классические методы экстракции характеризуются значительной продолжительностью обработки и ограниченными возможностями интенсификации массопереноса, что обусловливает необходимость разработки эффективного экстракционного оборудования и обоснования рациональных режимов его работы.

Одним из перспективных направлений повышения эффективности экстракции является применение молекулярного водорода. Вместе с тем влияние давления молекулярного водорода на извлечение биоактивных компонентов из виноградной кожуры и закономерности протекания процесса в герметичном экстракционном оборудовании ранее не изучено. В связи с этим разработка экстракционного оборудования с регулируемым давлением молекулярного водорода и обоснование рациональных параметров процесса представляют собой актуальную научно-техническую задачу, направленную на

повышение эффективности извлечения биоактивных компонентов из виноградных отходов.

Диссертационная работа выполнена в рамках научной программы BR24992914 «Комплексные биотехнологические решения для производства продуктов с добавленной стоимостью, направленные на повышение ценности лигноцеллюлозных побочных продуктов», финансируемой Министерством науки и высшего образования Республики Казахстан по государственной программе 217 «Развитие науки», подпрограммы 101 «Программно-целевое финансирование субъектов научной и/или научно-технической деятельности».

Цель диссертационной работы: Разработка экстракционного оборудования, работающего в среде молекулярного водорода и направленного на повышение эффективности извлечения ценных биоактивных компонентов из виноградных выжимок, а также обоснование эффективных режимов процесса экстракции.

Задачи исследования.

1. Провести анализ существующих методов и оборудования для экстракции биоактивных компонентов из виноградных отходов и обосновать целесообразность применения молекулярного водорода как способа повышения эффективности процесса.

2. Исследовать влияние параметров процесса экстракции на извлечение биоактивных компонентов из виноградной кожуры, в том числе на основе предварительных экспериментов оценить эффективность применения молекулярного водорода при мацерации, гидродистилляции и сверхкритической CO_2-экстракции, а также разработать конструкцию экстракционного оборудования, оснащённой системой подачи молекулярного водорода.

3. Разработать математическое описание процесса экстракции биоактивных компонентов из виноградной кожуры, исследовать влияние технологических параметров (давления, температуры и продолжительности обработки) на извлечение полифенолов в экспериментальном экстракционном оборудовании.

4. Провести анализ технико-экономической эффективности извлечения биоактивных компонентов из виноградной кожуры с использованием экспериментальной экстракционного оборудования.

Объект исследования. Экстракционное оборудование для извлечения биоактивных компонентов из виноградных выжимок.

Методы исследования. В работе использованы теоретические и экспериментальные методы исследования процесса экстракции биоактивных компонентов из виноградной кожуры. Теоретические исследования включали математическое моделирование кинетики экстракции биоактивных компонентов из виноградной кожуры, анализ закономерностей массопереноса и проведение инженерных расчётов экспериментальной экстракционного оборудования. Экспериментальные исследования проводились на

разработанном экстракционном оборудовании при варьировании давления молекулярного водорода, температуры и продолжительности процесса. Для оценки эффективности экстракции применялись физико-химические и спектрофотометрические методы определения содержания фенольных компонентов, флавоноидных компонентов, мономерных антоцианов, а также антиоксидантной активности экстрактов и метод высокоэффективной жидкостной хроматографии.

Научная новизна работы. Разработано конструктивное решение экстракционного оборудования, работающего при регулируемом давлении молекулярного водорода. Оборудование оснащено герметичной рабочей камерой и предназначено для извлечения биоактивных компонентов из виноградной кожуры (приложение А). На основании экспериментальных исследований определены рациональные режимные параметры работы экстракционного оборудования. В частности, при избыточном давлении молекулярного водорода 5×10^5 Па, температуре 35 °С и продолжительности экстракции 1800 с повышалось содержание фенольных соединений, флавоноидов и мономерных антоцианов в экстрактах, а также увеличивались показатели антиоксидантной активности.

Основные положения, выносимые на защиту:

– Применение модифицированного этанольного экстрагента, насыщенного молекулярным водородом, повышает выход фенольных соединений (TPC), флавоноидов (TFC) и мономерных антоцианов (TMA) из виноградной кожуры, а также антиоксидантную активность полученных экстрактов по показателям DPPH и ABTS.

– Герметичное экстракционное оборудование обеспечивает извлечение биоактивных соединений из виноградной кожуры за счёт использования экстрагента, насыщенного молекулярным водородом, и создания водородной среды под избыточным давлением.

Практическая значимость работы.

Практическая значимость состоит в разработке конструктивного решения экстракционного оборудования и обосновании режимов его работы. Получены экспериментальные данные о влиянии давления молекулярного водорода и режимных параметров на извлечение биоактивных компонентов из виноградной кожуры. Результаты могут использоваться при разработке технологий переработки виноградных выжимок и проектировании экстракционного оборудования для винодельческой и соковой промышленности. Получаемые экстракты рассматриваются как потенциальные ингредиенты пищевой продукции.

Достоверность полученных результатов была обеспечена применением физических, химических и спектрофотометрических методов анализа, исследованием процесса при контролируемых значениях режимных

параметров, математической обработкой экспериментальных данных и их сопоставлением с модельными зависимостями.

Апробация практических результатов работы.

Основные положения и результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на международной научно-практической конференции, а также на заседаниях кафедры «Биоинженерные системы» НАО «Шәкәрім Университет».

Практические результаты диссертационного исследования прошли апробацию в Научно-исследовательском институте пищевой безопасности АО «Алматинский технологический университет» (Республика Казахстан) и Центре разработки, применения и исследований инновационных пищевых технологий Iğdır University (Республика Турция), что подтверждается соответствующими актами апробации.

Личный вклад автора.

Личный вклад автора включает анализ научно-технической литературы, постановку и проведение экспериментальных исследований, разработка конструкции экстракционного оборудования, обоснование режимных параметров, обработку и интерпретацию полученных результатов, выполнение математического описания экстракционного процесса и технико-экономической оценки.

Публикации.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 6 научных работах, в том числе: 1 (одна) статья – в научном журнале, индексируемом в международных базах данных Web of Science/Scopus (Q2, процентиль – 75 по данным CiteScore 2025); 2 (две) статьи – в научных изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан; 1 (одна) работа – в материалах международных научно-практических конференций. Кроме того, получен 1 (один) патент Республики Казахстан на полезную модель (№ 11184, регистрационный номер 2025/1115.2) и подана 1 (одна) заявка на выдачу патента на изобретение (№ 2026/1111.1).

Структура и объём диссертации.

Докторская диссертация состоит из введения, 5 глав и заключения, изложенных на 174 страницах компьютерного текста, включая приложения. Работа содержит 48 рисунков, 17 таблиц, список использованной литературы из 163 наименований и 6 приложений.

Оценка полноты решения поставленных задач.

Полученные данные соответствуют цели диссертационной работы и позволяют сделать вывод о том, что все поставленные задачи были успешно выполнены:

1. Проведён анализ существующих методов и оборудования для экстракции биоактивных компонентов из виноградных отходов, выявлены

технологические ограничения традиционных методов экстракции. Обоснована целесообразность применения молекулярного водорода как способа интенсификации процесса экстракции и повышения эффективности извлечения биоактивных компонентов.

2. Экспериментально исследована эффективность применения молекулярного водорода при мацерации, гидродистилляции и сверхкритической CO_2-экстракции, а также влияние давления, температуры и продолжительности обработки на извлечение биоактивных компонентов. При использовании 4 % молекулярного водорода в процессе сверхкритической CO_2-экстракции содержание фенольных соединений увеличилось с 21,84 до 33,75 мг GAE/100 мл. Обоснованы рациональные параметры экстракции виноградной кожуры: регулируемое избыточное давление молекулярного водорода – 5×10^5 Па, температура – 35 °C, продолжительность процесса – 1800 с, соотношение твёрдой и жидкой фаз – 1:20, экстрагент – 70%-ный водный раствор этанола. При указанных условиях достигнуты следующие показатели: TPC – 2,04 мг GAE/г, TFC – 0,68 мг QE/г, TMA – 263,61 мг C3G/г, DPPH – 3,29 мг TE/г, ABTS – 39,01 мкмоль TE/г и FRAP – 0,180 мг GAE/г. Кроме того, разработана конструкция экстракционного оборудования периодического действия, оснащённого системой подачи молекулярного водорода и обеспечивающего возможность регулирования технологических параметров.

3. Разработано математическое описание процесса массообмена, протекающего в системе «твёрдая растительная матрица – жидкий экстрагент» при применении молекулярного водорода. Кинетика экстракции описана с использованием эффективного объёмного коэффициента массопереноса $k_f a$, определена его зависимость от давления, температуры и продолжительности обработки. Исследования, проведённые на экспериментальном оборудовании, показали, что указанные параметры влияют на интенсивность извлечения полифенолов из виноградной кожуры и степень их перехода в экстрагент. На основании полученных результатов установлены основные кинетические закономерности процесса и оценено соответствие математической модели экспериментальным данным. Это позволило обосновать рациональные режимы работы оборудования.

4. Проведена оценка технико-экономической эффективности применения разработанного экстракционного оборудования. При годовом объёме производства 837,31 кг экстракта расчётная выручка составила 26,79 млн тенге, капитальные вложения – 6,51 млн тенге, а годовой финансовый результат при условии регенерации 95 % этанола – 7,10 млн тенге. Расчётный срок окупаемости оборудования составил 0,92 года, что свидетельствует об экономической целесообразности предложенного технологического решения.