

АННОТАЦИЯ

диссертации на соискание степени доктора философии (PhD)
по специальности 6D072400 - «Технологические машины и
оборудование»

Велямов Шухрат Масимжанович

«Разработка оборудования для получения пектина из столовой свеклы»

Актуальность работы. Высокий рост спроса на натуральные биологически активные вещества в связи с ухудшением экологической обстановки в городах-мегаполисах определяет задачу перед технологами и проектировщиками необходимость создания нового оборудования, позволяющего эффективно выделять целевые компоненты с высокими функциональными свойствами из продукции агропромышленного комплекса.

Общеизвестные функциональные свойства пектина вызывают большой интерес, а необходимость его повседневного потребления имеет смысл развивать посредством внедрения нового оборудования позволяющего производить пектин (или экстракт пектина) и создавать новые рецепты продуктов повседневного потребления обогащенных им.

Большинство конструкций оборудования для проведения экстракции пектина из растительного сырья имеют ряд существенных недостатков в частности сложность конструкций, громоздкость оборудования и технологических схем, большие эксплуатационные затраты. Существующее оборудование для проведения экстракции ориентированно на технологии с использованием агрессивных сред кислот и щелочей, что исключает его использование непосредственно на предприятии по переработке плодоовощной продукции, а создание удаленных условий приводит к необходимости предварительной заготовки сырья, что является не рентабельным для производителей.

Альтернативным путем решения такой задачи является разработка оборудования – экстрактора растительного сырья, позволяющего производить экстракцию пектина биотехнологическим способом, который абсолютно безопасен. Один из таких биотехнологических способов получения пектина (экстракта пектина) разработан и запатентован в Республике Казахстан сотрудниками Казахского НИИ перерабатывающей и пищевой промышленности - патент Республики Казахстан №29264. Также разработан проект стандарта предприятия «Концентрат экстракта пектина, полученный из свекольных и морковных выжимок», который прошел экспертизу в АО «Национальный центр экспертизы и сертификации» и получено экспертное заключение № 11/1 с присвоением номера - СТ 103847-1910-ТОО-01-2014.

На сегодняшний день, для успешного внедрения вышеотмеченной отечественной технологии стоит вопрос интенсификации данной технологии посредством разработки эффективного и недорогого оборудования, которое

можно использовать на малых и средних предприятиях по переработке плодов и овощей, в Республике Казахстан их более 180-ти.

Необходимо отметить, что существующее оборудование, предназначенное для проведения ферментации пектиновых веществ, отличается экстенсивностью процесса и низким выходом конечного продукта. Для эффективного извлечения пектина составляющего структуру клетки растительного сырья недостаточно одного ферментативного воздействия. Как показали проведенные ранее опыты, при ферментации пектиновых веществ на стандартном оборудовании выход пектина не достигает и 60%. В связи с этим актуальным является разработка технического решения позволяющего увеличить производительность оборудования для экстракции и интенсивность процесса ферментативной экстракции пектина за счет использования ультразвукового генератором и быстроходной мешалки.

Объекты исследований: технологическое оборудование, оснащенное ультразвуковым генератором и быстроходной мешалкой.

Предмет исследований: технологический процесс ферментативной экстракции пектина, закономерность влияния ультразвукового воздействия на растительное сырье и активного перемешивания экстрагента при ферментативной экстракции пектина.

Цель работы: увеличение производительности и эффективности экстрактора растительного сырья для получения пектина (пектинсодержащего экстракта) столовой свеклы ферментативным способом, разработка универсальной конструкции экстрактора оснащенного ультразвуковым генератором и быстроходной мешалкой пропеллерного типа, методики его расчета и рекомендаций по применению.

Научная новизна исследований:

– разработана математическая модель процесса ферментативной экстракции пектина из растительного сырья, позволяющая рассчитать оптимальные конструктивные параметры экстрактора оснащенного ультразвуковым генератором и быстроходной мешалкой пропеллерного типа.

– установлены основные кинетические закономерности процесса ферментативной экстракции пектина из растительного сырья на примере выжимок столовой свеклы;

– разработаны принципы создания ресурсосберегающей технологии переработки вторичного растительного сырья - выжимок столовой свеклы, направленные на интенсификацию процесса получения готового продукта;

Практическая ценность работы. Разработана конструкция экстрактора растительного сырья, защищенная патентом Республики Казахстан №33150.

Разработана методика расчета экстрактора растительного сырья оснащенного ультразвуковым генератором и быстроходной мешалкой, предназначенного для экстракции пектина ферментативным способом.

Публикации. По теме диссертации опубликованы 12 статей, из них 5 - в материалах международных конференций, 5 - в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК, 2 - в изданиях входящем в базу данных РИНЦ, 1 - в издании индексируемом в

международной базе научных журналов Skopus - Bulgarian Journal of Agricultural Science с 38-м перцентилем (квартиль - Q3) по направлению «Сельскохозяйственные и биологические науки», 1 патент РК.

Материалы статей охватывают основное содержание диссертации, работа помимо основного направления исследований выполнена на стыке с такими направлениями как «пищевые технологии», «биотехнология», «переработка сельскохозяйственного сырья» и журналы где опубликованы основные результаты работы, выбраны для эффективного распространения полученных знаний.

Во введении дана оценка современного состояния решаемой научной проблемы, основание и исходные данные для разработки темы, обоснование необходимости проведения научно-исследовательской работы, сведения о планируемом научно-техническом уровне разработки и метрологическом обеспечении диссертации, актуальность и новизна темы, связь данной работы с другими научно-исследовательскими работами, цель, объект и предмет, задачи исследования, методологическая база, положения, выносимые на защиту, практическая ценность и апробация практических результатов.

В первом разделе рассматривается современное состояние и тенденции развития техники и технологии производства и применения пектина в функциональном питании.

Разработка оборудования для осуществления процесса ферментативной экстракции пектина из столовой свеклы имеет смысл, если в стране имеется необходимое количества сырья, анализ данных показал, что в Казахстане развивается стабильное производство столовой свеклы, которое в последние годы увеличивается, т.е. республика обладает высоким сырьевым потенциалом в этой области.

При разработке оборудования для экстракции пектина из растительного сырья необходимо использование современных методов интенсификации, поскольку как показали данные о накоплении пектина в столовой свеклы, видно, что большая его часть составляет непосредственно структуру клетки, которую необходимо разрушить посредством механического воздействия.

Проведенный анализ существующих конструкций экстракторов для растительного сырья, показал, что в Казахстане нет аналогов в подобных разработках, а все существующие конструкции имеют те или иные недостатки, наиболее существенными являются: отсутствие элементов, которые бы смогли увеличить интенсивность ферментативной экстракции пектина; большая материалоемкость и энергоемкость вследствие сложности конструкции, что влияет на себестоимость машин, а это, в свою очередь, делает их невыгодными (дорогими) для использования на малых перерабатывающих предприятиях.

Для разработки экстрактора с аппаратным оснащением позволяющим интенсифицировать процесс экстракции пектина был проведен анализ существующих методов повышения интенсивности процесса экстракции биологически активных веществ из растительного сырья. В результате выявлено, что ультразвуковой метод интенсификации выхода целевых компонентов из растительного сырья является наиболее современным, однако

требует дополнительных исследований зависимостей. Использование ультразвукового воздействия на растительную клетку создаст эффект кавитации в клетке растительного сырья, что приведет к ее разрушению, в связи с этим использование ультразвукового генератора в конструкции экстрактора имеет смысл изучить.

Также следует отметить, что для проведения интенсификации ферментативной экстракции пектина необходимо обеспечить равномерность процессов тепло- и массообмена в среде экстрагента с малой вязкостью, в связи с этим пропеллерные мешалки которые применяют для интенсивного перемешивания маловязких жидкостей, взмучивания осадков, содержащих до 10 % твердой фазы с размерами частиц до 0,15 мм, являются достаточно эффективными для перемешивания экстрагента.

На основании проведенного анализа осуществлена постановка задач исследований.

Во втором разделе исходя из массы растительного сырья и объема экстрагента, приведены расчетные зависимости для определения габаритных размеров экстрактора. Представлено обоснование методики расчета геометрических характеристик и аппаратного оснащения экстрактора растительного сырья.

Методика позволяет рассчитать объем ситового отдела для загрузки растительного сырья, необходимый объем ванны для экстрагента, расположение ключевого аппаратного оснащения, а также другие необходимые геометрические характеристики экстрактора.

Также представлены методы расчета мощности перемешивающего устройства, ультразвукового излучателя и трубчатых электронагревателей.

В третьем разделе представлены методы исследования и обоснование режимов работы экстрактора для растительного сырья при использовании ультразвукового генератора и механической мешалки.

Определен план проведения эксперимента основных характеристик аппаратного оснащения экстрактора (интенсивность ультразвука и частота перемешивания). Представлены методики проведения процесса ферментативной экстракции пектина из растительного сырья, изучения основных функциональных показателей полученного экстракта пектина. Для проведения экспериментальных исследований использованы поверенные в установленном порядке приборы научно-исследовательской лаборатории «Биотехнологии, качества и пищевой безопасности» КазНИИ перерабатывающей и пищевой промышленности.

Экспериментальным путем обоснованы рациональные режимы работы экстрактора растительного сырья, оснащенного ультразвуковым генератором и лопастной мешалкой. В частности изучено влияние ультразвукового воздействия на растительное сырье и активного перемешивания экстрагента на кинетику извлечения пектина из столовой свеклы. Проведенные эксперименты показали высокую эффективность применения ультразвукового генератора и лопастной мешалки при ферментативной экстракции пектина из растительного сырья.

В результате многофакторного статистического анализа впервые решена задача оптимизации диапазона изменения входных параметров режима работы экстрактора предназначенного для ферментативной экстракции с использованием ультразвукового воздействия на растительное сырье и активного перемешивания экстрагента лопастной мешалкой пропеллерного типа (частота вращения перемешивающего устройства - $3,3...16,6 \text{ с}^{-1}$; интенсивность воздействия ультразвуком - $50...150 \text{ кВт/м}^2$; экспозиция (продолжительность процесса) - $3,6 \cdot 10^3...18,0 \cdot 10^3 \text{ с}$).

В четвертом разделе представлена математическая модель процесса ферментативной экстракции пектина протекающего в разработанной конструкции экстрактора.

Проведен анализ процесса ферментативной экстракции пектина. В ультразвуковом поле наряду с крупномасштабными акустическими течениями у границ раздела фаз возникают мелкомасштабные вихревые потоки, характеризующиеся значительными градиентами скоростей, диссипацией энергии и локальным нагревом жидкости. Эти факторы ускоряют диффузию макромолекул в результате турбулентной диффузии и снижения вязкости раствора.

Увеличение скорости экстракции объясняется изменением диффузионного сопротивления пограничного слоя, вязкость которого зависит от растворимости экстрагируемых макромолекул и их межмолекулярного взаимодействия.

Перемешивание экстрагента сказывается на увеличении выхода пектина ввиду «вымывания» его из растительного сырья находящегося в сетке. С увеличением активности перемешивания резко возрастает внешняя диффузия (массоотдачи с поверхности частицы растительного сырья в экстрагент).

В результате проведенных исследований определены значения режимных параметров экстрактора (интенсивность ультразвука и частота перемешивания) для ферментативной экстракции пектина, которые обеспечивают максимум выхода пектина - на 19-21% эффективнее и на 2 часа быстрее стандартного способа с использованием ферментеров.

Обоснована физико-математическая модель для описания процесса экстракции пектина из растительного сырья в предлагаемом оборудовании при комплексном воздействии ультразвука и активного перемешивания. Предложено критериальное уравнение вида:

$$Nu_D = 0,08Re^{0,5} \cdot Pr_D^{0,33} \cdot Te^{0,21} \cdot Us^{0,01},$$

которое характеризует интенсивность экстрагирования (интенсивность массоотдачи в системе твердое тело-жидкость). По найденному значению коэффициента массоотдачи β определяется переданное количество вещества (пектина) в экстрагент.

Полученные результаты позволяют выявить влияние отдельных факторов на выход пектина при ферментативной экстракции и могут быть использованы при проектировании и оптимизации их работы.

В пятом разделе приведены результаты производственных испытаний, в условиях ТОО «Тургень Эко-Продукт», опытно-промышленной модели экстрактора собранного на основе разработанной методики расчета на 1 кг растительного сырья и 15 литров экстрагента. При непрерывной работе экстрактора в течение 1 смены (9 часов), произведено 32 литра пектинсодержащего экстракта. Концентрация пектина в общем объеме экстракта составила - 5,4 г/л. Полученного объема экстракта достаточно для производства 160 л плодовоовощного обогащенного сока, а предложенная модель экстрактора показала свою пригодность для малых и средних предприятий по производству натуральных плодовоовощных соков.

Изучены функциональные свойства полученных на разработанном оборудовании образцов пектинового экстракта. В условиях *in vitro*, низкоэтерифицированный пектин из столовой свеклы обладает более выраженными восстановительными свойствами, чем лекарственный препарат антиоксидантного действия - эмоксипин, что подтвердило возможность использования полученного экстракта пектина как биологически активной добавки к пище.

Проведено изучение основных физико-химических показателей и показателей безопасности полученных на разработанном оборудовании образцов пектинового экстракта. Содержание пестицидов, токсичных элементов и патогенных микроорганизмов не обнаружено, или эти показатели находятся в пределах допустимой нормы, что подтверждает безопасность полученной продукции.

Проведен расчет экономической эффективности внедрения предлагаемого оборудования. Внедрение оборудования для переработки вторичного сырья позволит увеличить доходы перерабатывающих предприятий на 4 386 222,88 тенге за счет расширения ассортимента.

В заключении даны краткие выводы по результатам диссертационных исследований, оценка полноты решений поставленных задач, разработаны рекомендации и исходные данные по конкретному использованию результатов, дана оценка технико-экономической эффективности внедрения и научного уровня выполненной работы в сравнении с лучшими достижениями в данной области.