МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РФ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Казанский национальный исследовательский технологический университет»

(ФГБОУ ВО «КНИТУ»)

Кафедра	*промышленной биотехнологии*
Направление	*19.04.01 – «Биотехнология»* *программа «Управление институтами устойчивого развития и внедрения энергоресурсосберегающих технологий»*
Группа	*618-М11*

ВЫПУСКНАЯ КВАЛИФИКАЦИОННАЯ РАБОТА

Уровень образования *магистр*

Вид ВКР *исследовательский*

Тема*:* «Разработка технологических аспектов комплексной переработки корнеплодов дайкона»

Руководитель_____ (М*инзанова С.Т.*)

Студент_____ (*Фаляхова А.В.*)

2020 г.

Содержание

		с.
	Список сокращений	5
	ВВЕДЕНИЕ	6
1	ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	12
1.1	Корнеплоды дайкона – ценный источник пектина	12
1.1.1	Агротехнические приемы повышения качества корнеплодов	17
1.1.2	Химический состав корнеплодов дайкона	18
1.1.3	Свойства дайкона	19
1.1.4	Применение корнеплодов дайкона	20
1.2	Пектины: структура, свойства и применение	22
1.2.1	Определение и строение пектиновых полисахаридов	22
1.2.2	Физико-химические свойства пектиновых полисахаридов	26
1.2.3	Способы получения пектиновых веществ	29
1.2.4	Способы интенсификации процесса гидролиза – экстракции пектинов	38
1.2.5	Применение пектиновых веществ	41
1.3	Методы повышения эффективности использования сырья	44
1.4	Методы оценки эффективности производства	46
2	ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	52
2.1	Объекты исследования	52
2.2	Планирование экспериментов	52
2.3	Характеристика используемого оборудования	53
2.4	Методы исследования	62
2.4.1	Определение сухих веществ весовым методом	62
2.4.2	Определение содержания золы	62
2.4.3	Определение содержания сухих веществ по плотности в экстрактах ареометром по ГОСТ 8756.2-70	63
2.4.4	Определение степени этерификации пектина, содержания свободных и этерифицированных карбоксильных групп в пектине	63
2.4.5	Определение молекулярной массы пектинов	64
2.4.6	Определение кинематической вязкости пектиновых экстрактов вискозиметрическим методом	65

2.4.7 Определение концентрации пектина в экстракте и уронидной составляющей пектина Са-пектатным методом 66
2.4.8 Определение комплексообразующей способности пектина 66
2.4.9 Определение студнеобразующей способности пектина 67
2.4.10 Количественное определение сахаров в гидролизатах 67
2.4.11 Определение белка методом Лоури 68
2.5 Характеристика используемых реактивов, материалов и посуды 69
2.6 Проведение экспериментальных исследований 72
2.6.1 Отделение сока и предварительная подготовка сырья для выделения пектиновых полисахаридов 72
2.6.2 Предварительная подготовка обеспектиненного жома дайкона в качестве сырья для ферментативного гидролиза 73
2.7 Результаты экспериментальных исследований 74
3 РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ 81
3.1 Предварительная обработка сырья 81
3.2 Кислотный гидролиз 82
3.2.1 Органолептические и физико-химические свойства пектинов 86
3.2.2 Качественный анализ пектинов методом ИК спектроскопии 88
3.2.3 Микробиологические свойства пектинов 90
3.2.4 Функциональные свойства пектинов 90
3.2.5 Технико – экономическое обоснование работы 91
3.3 Ферментативный гидролиз 96
Заключение 102
ВЫВОДЫ 103
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ 104

АННОТАЦИЯ

Магистерская диссертация

Диссертация: страниц – 111 , рисунков – 30 , таблиц – 29, источников – 85

ПЕКТИН, ДАЙКОН, ГИДРОЛИЗ-ЭКСТРАКЦИЯ, ЯНТАРНАЯ КИСЛОТА, ЩАВЕЛЕВАЯ КИСЛОТА, ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ ГИДРОЛИЗ, ЦЕЛЛОЛЮКС-А, ИК-СПЕКТРОСКОПИЯ

Целью исследований является разработка экологически безопасного и ресурсосберегающего способа получения функционального продукта пектина из корнеплодов дайкона.

Исследованы в сравнительном аспекте процессы гидролиза-экстракции пектиновых веществ из выжимок дайкона с использованием 0,5%-ных растворов янтарной и щавелевой кислоты, а также изучены физико-химические и функциональные свойства, структурные особенности (ИК спектроскопия) выделенных пектиновых полисахаридов. Исследованы процессы ферментативного гидролиза жомов дайкона после извлечения пектина с использованием ферментного препарата Целлолюкс-А и характеристики полученных гидролизатов. Рассчитаны затраты, приведенные к единице (кг) целевого продукта – пектина, на проведение процесса гидролиза-экстракции из выжимок дайкона в оптимальных условиях (с использованием кислоты, обеспечивающей максимальный выход пектина).

Список сокращений

АСВ – абсолютно-сухой вес

СЭ – степень этерификации

БАВ – биологически-активные вещества

КС – комплексообразующая способность

ММ – молекулярная масса

РВ – редуцирующие вещества

ИК – инфракрасный спектр

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность работы. Среди мирового разнообразия культурных растений особое место занимает дайкон. Это ценный диетический продукт – санитар печени и почек. Вещества, содержащиеся в нем (гликозиды, фитонциды, лизоцим), подавляют развитие вредных грибов и бактерий. Клетчатка дайкона способствует очищению организма и профилактике некоторых заболеваний. Корнеплоды дайкона меньше других растений накапливают тяжелые металлы и радионуклиды. Дайкон имеет большую популярность у огородников любителей, его выращивают не только фермерские хозяйства и коллективные сельскохозяйственные предприятия, но и проявляют интерес предприятия защищенного грунта [1].

Разработка научных основ и технологических аспектов биоконверсии вторичного возобновляемого растительного сырья позволяет расширить ассортимент продукции пищевого и кормового назначения, создать дополнительные источники сырья и топлива, сократить площади под посевы технических культур, решая при этом глобальные экологические проблемы утилизации отходов [2].

Общеизвестно, что в настоящее время вопрос рационального использования сырьевых ресурсов с целью энерго- и ресурсосбережения становится крайне актуальным. Проблема усугубляется тем, что нерациональное использование сырья и несовершенство технологий его переработки обернулись для окружающей среды мощным антропогенным давлением. Это, прежде всего загрязнение окружающей среды промышленными отходами, снижение продуктивности возобновляемых биологических ресурсов, в том числе и растительного происхождения. Использование так называемых «зеленых технологий» находит все большее развитие в таких отраслях промышленности, как энергетическая, химическая, фармацевтическая. Перспективным является рациональное использование первичных сырьевых ресурсов, а также комплексная переработка вторичных сырьевых ресурсов. Наращивание производственной базы перерабатывающей отрасли, использование сырья путем разработки и создания новых прогрессивных, энерго- и ресурсосберегающих технологий комплексной переработки ценных вторичных сырьевых ресурсов является актуальной задачей [3]. При переработке дайкона вырабатываются продукты,

которые представляют большую пищевую ценность для человека, такие как – пектин, пектиновый концентрат, сок.

Известно, что развитие комплексного производства расширяет возможности повышения экономической эффективности, заинтересованности в увеличении производства продукции, снижении затрат и повышении рентабельности [4].

В связи с этим возникает потребность создания и развития отечественного производства пектина и пектиновых продуктов, а также требуются новые отечественные источники растительного сырья для получения высококачественного пектина [5].

Цель исследования – разработка экологически безопасного и ресурсосберегающего способа получения функционального продукта пектина из корнеплодов дайкона.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести обзор литературы по теме: «Дайкон – перспективный источник получения ценного продукта – пектина. Состав, строение, свойства, способы получения и области применения пектинов»;
2. Исследовать в сравнительном аспекте процессы гидролиза-экстракции пектина из корнеплодов дайкона с использованием янтарной и щавелевой кислоты (0,5% растворы) и оценить выход пектина на АСВ сырья;
3. Исследовать физико-химические, структурные (ИК спектроскопия) и функциональные свойства выделенных пектиновых полисахаридов;
4. Исследовать процессы ферментативного гидролиза жомов дайкона после извлечения пектина с использованием ферментного препарата Целлолюкс-А и характеристики полученных гидролизатов.
5. Рассчитать затраты, приведенные к единице (кг) целевого продукта – пектина, на проведение процессов гидролиза-экстракции из выжимок дайкона с использованием янтарной и щавелевой кислоты и провести сравнительный анализ.

Новизна. В данной работе для получения пектина использовали нетрадиционное сырье – корнеплоды дайкона. Корнеплод дайкона – перспективный ценный диетический низкокалорийный продукт. Новый сорт

дайкона «Дракон» отличается высокой урожайностью (400-900 ц/га) и адаптирован к климатическим условиям России [6].

Для получения пектина, перспективного для применения в медицине, пищевой промышленности проведены исследования по разработке экологически безопасного способа получения функционального продукта – пектина с использованием янтарной кислоты.

Впервые показано, что ферментный препарат Целлолюкс-А может использоваться для гидролиза жомов дайкона, образующихся после извлечения пектина.

Практическая значимость. На данный момент в России нет собственного промышленного производства пектина, поэтому он в полном объѐме экспортируется из-за границы, обуславливая острую зависимость пищевой промышленности от зарубежных поставщиков продукции.

Также наблюдается дефицит традиционных сырьевых источников пектина, таких как цитрусовые и яблочные выжимки. Широкое применение гидролитических ферментов при получении яблочного сока позволило в настоящее время создать безотходное производство последнего за счет полного гидролиза пектина до сахаров.

В связи с этим, полученные результаты могут стать научной основой для создания и развития производства пектина и пектиновых продуктов в России из корнеплодов дайкона, обеспечивающих получение высококачественного пектина в рамках комплексной переработки новых отечественных источников растительного сырья [5].

Публикации

Статьи в сборнике

1. Минзанова С.Т., **Шавалиева А.В.**, Ахмадуллина Ф.Ю., Миронова Л.Г. Технологические аспекты получения пектина из дайкона // Сборник научных трудов по материалам Международной научной экологической конференции «Отходы, причины их образования и перспективы использования», Краснодар, 26-27 марта 2019 г. – С. 496-498.
2. Минзанова С.Т., Миронова Л.Г., Краюшкина А.В., **Шавалиева А.В.,** Хайбуллова Э.И., Гинс М.С., Гинс В.К., Кононков П.Ф., Ахмадуллина Ф.Ю., Милюков В.А. Пектиновые полисахариды: получение и физико-химические свойства // Материалы XIII Международной конференции «Новые и

нетрадиционные растения и перспективы их использования», Сочи, 4-8 июня 2018 г. – С. 630-633 (стендовый доклад).
3. Минзанова С.Т. Оптимизация параметров процесса гидролиза-экстракции пектина из дайкона / С.Т. Минзанова, **А.В. Шавалиева**, Ф.Ю. Ахмадуллина, Л.Г. Миронова, В.А. Милюков // Материалы XVI Всероссийской конференции молодых ученых, аспирантов и студентов с международным участием, посвященная 150-летию Периодической таблицы химических элементов «Пищевые технологии и биотехнологии», Казань, 16-19 апреля 2019 г. – С. 151-156.

Кафедра ПБТ_____ «УТВЕРЖДАЮ»

Направление *Управление институтами устойчивого развития и внедрения энергоресурсосберегающих технологий*

Зав. кафедрой Сироткин А.С.

_____2020 г.

Специальность 19.04.01– Биотехнология

Группа 618-М11

З А Д А Н И Е

на выпускную квалификационную работу магистра ***Фаляховой Айгуль Вахитовны***

Тема *«Разработка технологических аспектов комплексной переработки корнеплодов дайкона»*

Срок представления работы к защите «25» июня 2020 г.

Цель, задачи и исходные данные работы:

Цель работы – разработка экологически безопасного и ресурсосберегающего способа получения функционального продукта пектина из корнеплодов дайкона.

Задачи: исследовать в сравнительном аспекте процессы гидролиза-экстракции пектиновых веществ из выжимок дайкона с использованием 0,5%-ных растворов янтарной и щавелевой кислоты, а также изучить физико-химические и функциональные свойства, структурные особенности (ИК спектроскопия) выделенных пектиновых полисахаридов; исследовать процессы ферментативного гидролиза жомов дайкона после извлечения пектина с использованием ферментного препарата Целлолюкс-А и характеристики полученных гидролизатов; рассчитать затраты, приведенные к единице (кг) целевого продукта – пектина, на проведение процесса гидролиза-экстракции из выжимок дайкона в оптимальных условиях (с использованием кислоты, обеспечивающей максимальный выход пектина).

Задание по разделам работы: Обзор литературы по теме: «Дайкон – перспективный источник получения ценного продукта – пектина. Состав, строение, свойства, способы получения и области применения пектинов»; Экспериментальная часть и обсуждение результатов, Выводы и Список использованных источников.

Содержание графической части (иллюстрированного материала):

Таблицы и графики в соответствии с полученными результатами

Консультанты:

Дата выдачи задания «02»декабря 2019 г.

Руководитель _____(С.Т. Минзанова)

Задание принял к исполнению _____(А.В. Фаляхова)

ЛИСТ НОРМОКОНТРОЛЯ

1. Лист является обязательным приложением к пояснительной записке дипломного (курсового) проекта.
2. Нормоконтролер имеет право возвращать документацию без рассмотрения в случаях:
   -нарушения установленной комплектности,
   -отсутствия обязательных подписей,
   -нечеткого выполнения текстового и графического материала.
3. Устранение ошибок, указанных нормоконтролером, обязательно.

ПЕРЕЧЕНЬ

замечаний и предложений нормоконтролера по дипломному (курсовому) проекту,

студента группы 618-М11 Фаляховой Айгуль Вахитовны

(группа, инициалы, фамилия)

Лист (страница)	Условное обозначение (код ошибок)	Содержание замечаний и предложений со ссылкой на нормативный документ, стандарт или типовую документацию
		Замечаний не выявлено. Выпускная квалификационная работа выполнена в соответствии с П-1.01-04.02-04.2019 «Положение о выпускных квалификационных работах бакалавра, специалиста, магистра в системе многоуровневого образования ФГБОУ ВО «КНИТУ».

Дата «23» 05.2020 г. Нормоконтролер _____ Минзанова С.Т.

…….. (подпись) фамилия, инициалы

1 ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1 Корнеплоды дайкона – ценный источник пектина

Дайкон (*лат*. *Raphanussativus*) – корнеплодное растение семейства капустных, японская разновидность редьки, имеющая очень крупный корнеплод, по вкусовым качествам близка к редису. Корнеплоды дайкона – белого цвета, цилиндрические, длиной 30-60 см, диаметром 5-8 см, массой 700-1000 г. Новый сорт дайкона «Дракон» отличается высокой урожайностью (400-900 ц/га) и адаптирован к климатическим условиям России [6].

Дайкон – достаточно древнее растение, выращивавшееся еще в период строительства пирамид. Дайкон – особая культура, имеющая индивидуальные морфологические и хозяйственно ценные признаки, большое число сортотипов и сортов [7].

Он наиболее распространен на своей родине – в Японии, где является главной овощной культурой, занимает первое место по посевной площади, производству, потреблению и входит в состав ежедневного меню японцев. Дайкон сейчас дает 17-20% в структуре валовой продукции овощеводства – 2,5-2,7 млн. т ежегодно [7].

Ценность дайкона в высоких вкусовых и диетических достоинствах корнеплодов. Они сочные, нежные и практически лишены горьковато-острого привкуса. Поэтому дайкон часто называют сладкой редькой. Вкусовую и биологически активную ценность ее различных форм определяет содержание в них глюкозинолатов или тиоглюкозидов. Они же характеризуют особый запах корнеплодов. При разрушении клеток корнеплодов во время употребления их в пищу под действием ферментов происходит гидролиз тиоглюкозидов, в результате образуется глюкоза, горчичные масла (изотиоцианаты), тиоцианаты и другие вещества. В процессе гидролиза экстрактов из корнеплодов образуется соответственно в 1,3 и 1,8 раза больше глюкозы, чем у китайской редьки лобы и европейских сортов редьки и редиса. Это и улучшает вкусовые качества дайкона [8].

При выращивании дайкона на почвах, загрязненных солями тяжелых металлов, он способен в два-три раза меньше накапливать их в листьях, чем другие корнеплоды (морковь и свекла). В корнеплодах же накопление

тяжелых металлов составляет незначительное количество – меньше предельно допустимых концентраций [8].

Включение эффективных источников и доноров в селекционные программы позволяет создавать сорта с надежной генетической защитой от болезней и вредителей, обеспечивающие гарантированный урожай [4].

В селекционной практике одним из важнейших является этап создания исходного материала, который ложится в основу всех будущих сортов и гибридов. В основе классической селекции растений лежит естественная генетическая изменчивость. Исходный материал – это источник, из которого селекционер черпает необходимые ресурсы для наполнения и корректировки селекционных программ [4].

Успех селекционной работы, как известно, определяется в значительной мере исходным материалом. Поэтому, несомненно, первейшей задачей является исследование местных популяций и выделение из них наиболее интересных форм [4].

В Японии создано более 400 сортов и гибридов дайкона. Скороспелые сорта формируют корнеплоды через 50-60 суток после посева, среднеспелые – через 65-75, среднепоздние – 80, позднеспелые – 90-120, иногда и через 200 суток. Созданы сорта, формирующие корнеплод через 40-45 суток, то есть как позднеспелые сорта редиса [8].

Характерная особенность большинства сортов дайкона – сильная рассеченность пластинки листа. Форма его, как правило, узколировидная. Благодаря такому строению листа растения более эффективно используют солнечную радиацию, что способствует ускоренному формированию очень крупных корнеплодов за непродолжительный период. Средняя длина листа 50-60 см, ширина 15-25, длина черешка 1-6 см. Окраска листьев – от светло- до темно-зеленой. Сильноопушенные листья приобретают сизоватый оттенок. Черешки листьев различной формы: округлой, уплощенной, клиновидной и др. Их окраска чаще всего светло-зеленая. Есть сорта, у которых листья с белыми черешками, они гладкие и в молодом возрасте их используют как салатную зелень [8].

Большинство сортов объединены в сортотипы по основному признаку – форме корнеплодов. Он может быть округлым, цилиндрическим,

коническим, эллиптическим, веретеновидным. У большинства сортов длина корнеплода от 10-15 до 30-60 см, диаметр от 4 до 10 см [8].

Сорта различаются также по степени заглубленности корнеплода в почву: полностью, на 2/3, 1/2 и 1/3. Окраска корнеплода преимущественно белая, но в последние годы стали появляться гибриды, корнеплоды которых в верхней части окрашены в светло-зеленый цвет. Они пользуются повышенным спросом [8].

Все существующие сортотипы, сорта и гибриды объединяются в четыре группы – климатипы в соответствии с приспособленностью их к определенным сезонам выращивания. Название климатов соответствует времени года, в который тот или иной сорт в Японии формирует товарные корнеплоды, то есть оно совпадает с названием сезона уборки урожая. Знание этих эколого-климатических особенностей сортов дайкона крайне важно и при выращивании их в различных зонах России. С недооценкой этого чаще всего и связаны неудачные попытки выращивания дайкона в нашей стране [8].

Выделяют следующие климатипы дайкона. Аки (осенний) – к нему относится большинство сортотипов (Нерима, Миясиге, Шогоин, Сироагари), отличающихся наибольшей урожайностью, крупностью корнеплодов, высоким качеством. Именно эти группы сортов, как правило, пытались культивировать в России. Но, как показали исследования, сорта и гибриды осеннего климата в Подмосковье характеризуются довольно высокой цветушностью. Неустойчивость аки-дайкона к преждевременному стеблеванию связана с особенностями фотопериодической реакции (на длину дня) растений. Переход к фазам стеблевания и цветения наступает у них при длине дня 12-14 часов [8].

Аналогичной фотопериодической реакцией характеризуется и фую (зимний) климатип. К нему относятся сортотипы Сакурадзима, Сангапу, Миура, которые к тому же наиболее позднеспелые. Большинство сортов зимнего климатипа из-за этого малопригодны для культивирования в высокоширотном регионе России, где период вегетации непродолжительный [8].

Нацу (летний) дайкон, большинство сортов и гибридов которого получены на основе сорта Миновасе, выбрасывает стебель при долготе дня –

14-15 часов. Поэтому при поздних сроках посева в Нечерноземной зоне можно к осени получать товарные корнеплоды большинства сортов этого климатипа. Ценность нацу-дайкона – их жаростойкость [8].

Сорта и особенно гибриды хару (весеннего) климатипа представляют наибольший интерес для различных сезонов выращивания в Подмосковье и других районах, расположенных между 40° и 55°с.ш. Необходимо учитывать и сортовые особенности. Так, Камейдо приближается по фотопериодической реакции к европейскому редису, но воздействие на проростки семян температурами около 5 °С в течение 10 суток вызывает преждевременное стеблевание. Большинство сортов и гибридов весеннего дайкона устойчивы к преждевременной цветушности. Переход к репродуктивным фазам развития отмечается у них при продолжительности дня более 16 часов. Сорт Такинаси характеризуется наиболее глубокими фазами перехода к стеблеванию и цветению и может быть использован в селекции как источник устойчивости к этому явлению. Эти биологические особенности следует учитывать при заготовке семян [8].

Как правило, принадлежность к климатипу бывает отражена в названии сортов и гибридов. Например, Харуцуге, Харуеси, Харкиоси относятся к весеннему климатипу, а Акисахари и Фуюдори Миура – соответственно к осеннему и зимнему [8].

В названии некоторых гибридов не отражены ни климатип, ни сортотипическая принадлежность: Блу Скай, Дайси, Дайякусин. Эти гибриды пригодны для выращивания как в открытом, так и в защищенном грунте, поэтому сезоны их культивирования могут быть различные. В этом случае следует ориентироваться на сроки посева, уборки урожая, другие данные, помещенные на пакетах с семенами.

Дайкон отличается высокой урожайностью, особенно выделяются гибриды и сорта летнего климата. Для них же характерны и более крупные корнеплоды. Однако максимальная масса их (2,5 кг) отмечена у гибрида Теншун, относящегося к хару-дайкону, а максимальная урожайность (10,9 кг/м^2) – у гибрида Цукусихару. Важное преимущество сортов и гибридов весеннего климатипа – отсутствие цветушных форм. Некоторые сорта и гибриды нацу-дайкона также в этот период не дают цветухи (например, Дайякусин, Нью Кроун, Мино Саммер Кросс). Если же сравнивать между

собой сорта и гибриды, то последние обеспечивают более высокую продуктивность и качество корнеплодов [8].

По данным ВНИИССОК, урожайность дайкона различных климатипов характеризуется следующим образом (табл.1) [8].

Таблица 1 – Урожайность дайкона различных климатипов в Подмосковье при июльском посеве (данные ВНИИССОК, 1989-1991 гг.)

Климатип	Количество сортов и гибридов, шт	Урожайность, кг/м^2			Средняя масса корнеплода, кг	Средний процент цветушных растений к уборке
		средняя	минимальная	максимальная		
Весенний (хару)	17	7,02	4,3	10,9	0,985	0
Летний (нацу)	10	8,19	3,3	10,6	1,275	13,24
Осенний (аки)	12	5,28	1,6	8,5	1,079	65,51
Зимний (фую)	2	3,83	1,96	5,7	0,870	65,90

Во ВНИИССОК выведены отечественные сорта дайкона: Дракон, Саша, Дубинушка.

Дракон – среднеспелый сорт, формирует товарные корнеплоды через 60-70 суток после посева. Форма корнеплода цилиндрическая с коническим сбегом. Длина его от 30 до 60 см, диаметр 6-8 см. Окраска кожицы и мякоти белая. Урожайность в открытом грунте (при посеве во второй половине июля) достигает 9,5 кг/м^2 [8].

Дубинушка – среднеспелый сорт, от полных всходов до технической спелости проходит 60-75 суток. Корнеплод массой 750-2200 г, цилиндрический, длиной 30-45 см, диаметром 5-8 см, гладкий, белый. Мякоть белая, очень сочная, нежная, плотная. Вкус сладковатый, освежающий, без острого привкуса. Урожайность в открытом грунте 50-75 т/га, в защищенном – 6,5-9,5 кг/м^2. Предназначен для выращивания в открытом и защищенном грунтах [8].

Саша – скороспелый сорт, от всходов до технической спелости проходит 35-40 суток. Корнеплод округлой формы, массой 250-300 г. Мякоть однородная по консистенции, сочная, сладкая, белого цвета. Вкусовые качества отличные. Листья молодых растений очень нежные, салатного назначения. Товарность корнеплодов 90%. Урожайность 3-4,5 кг/м^2. Отличается устойчивостью к бактериозу. Лежкость удовлетворительная. Биохимический состав корнеплодов: витамин С – до 46 мг, сухое вещество – 7,17%, содержание нитратов – 101,3 мг/кг. Рекомендуется для выращивания в открытом и защищенном грунтах. Недостаток сорта – невыравненность корнеплодов по размеру и форме [8].

1.1.1 Агротехнические приемы повышения качества корнеплодов

При соблюдении установленных оптимальных сроков посева (вторая-третья декады июня – вторая декада июля) в условиях Московской области можно получать достаточно высокую урожайность дайкона. Поскольку он является культурой длинного дня, то при раннем посеве большое количество растений образует цветоносы. При этом, образуя цветоносы, растения образуют и большой корнеплод, который уступает и по вкусу, и по химическому составу корнеплодам растений, которые были без цветоносов. Кроме того, при посеве семян в эти сроки корнеплоды настолько поражаются капустной мухой и в такой степени, что становятся непригодными для использования [8].

Корнеплоды от июльского посева лучше сохраняются и практически не теряют вкусовых качеств в течение всей зимы при хранении в подвале или хранилище.

На легких и торфяно-дерновых или торфяно-перегнойных почвах корнеплоды более гладкие и ровные. Однако и на тяжелых глинистых почвах получают высококачественные товарные корнеплоды. В этом случае рекомендуется использовать сорта со слабопогружаемым в почву корнеплодом (не более чем на половину длины) [8].

Семена высевают на глубину 6 см двустрочно на грядах, подготовленных грядоделателем ГС-1,4 в агрегате с трактором МТЗ-52. Ширина их 1,4 м вместе с межгрядовым проходом. На легких почвах можно применять однострочный посев на грядах шириной 1 м. Расстояние между растениями в ряду 20 см, а между рядами 60 см. При посеве сеялкой ГС-1,4

используют только два крайних сошника. На приусадебных участках лучше сеять проклюнувшиеся семена по одному в гнездо или использовать горшечную рассаду.

Дайкон требователен к высокому уровню агротехники. Уход за растениями во время вегетации аналогичен уходу за редькой. Появившиеся всходы прореживают, оставляя в гнезде по одному. При более загущенном посеве и несвоевременном прореживании урожайность и товарность продукции снижаются [8].

1.1.2 Химический состав корнеплодов дайкона

В литературе на основе качественного анализа трех сортообразцов дайкона получены данные о наличии пектиновых веществ в дайконе [6].

Исследования выявили высокое содержание питательных веществ на корнеплодах дайкона (таблица 2). Сок дайкона сорта «Дракон» содержит много белка, витамина С и пектина, что делает его особенно полезным продуктом для профилактики токсикозов. Кроме того, сок дайкона богат сахарами, особенно фруктозой. Содержание общего сахара в соке дайкона по данным титриметрического метода составляет 66.32%. Высокое содержание фруктозы позволяет использовать дайкон при лечении и профилактике диабета [6].

Таблица 2 – Физико-химические характеристики сока дайкона (% на АСВ) [5]

Показатель	**Сок дайкона**	**Жом дайкона**
pH	5,8	3,6
Зольность, %	10,79	6,32
Белок, %	11,49 (по Лоури)	9,51 (по азоту)
Пектиновые полисахариды, %	до 2,0	7,1
Витамин С, мг/г	0,093	-
Витамин Е, мг/г	9,89	-

Анализ содержания ценных питательных веществ в соке дайкона выявил высокий процент зольности, что указывает на большое количество минеральных элементов. В дайконе много солей калия, атомно эмиссионным методом обнаружены кальций, железо, фосфор и кремний [6].

В высушенных корнеплодах дайкона отмечено высокое содержание азота (3.0-3.5%), что указывает на достаточно высокое содержание белка. Исследован также аминокислотный состав белков высушенного дайкона. Показано, что в состав белка входят 15 аминокислот с полным набором незаменимых, именно поэтому корнеплод признан ценным продуктом питания [6].

Дайкон богат витаминами С и В, которые, главным образом, ответственны за его успокоительные свойства и торможение психического возбуждения.

Листья дайкона содержат почти в 6 раз больше витамина С, чем его корень и являются превосходным источником кальция. Чтобы получить максимальную пользу от дайкона, лучше использовать в пищу, молодые клубни растения, поскольку со временем питательные вещества оттягивают из корнеплода надземные части растения – листья [9].

1.1.3 Свойства дайкона

Корнеплод дайкона – ценный диетический низкокалорийный продукт, полезен для профилактики сердечнососудистых и простудных заболеваний. Он обладает антисептическими и бактерицидными свойствами, стимулирует работу желудочно-кишечного тракта [10].

Высокое содержание фруктозы при достаточно низкой концентрации сахарозы (0,17%), а также наличие большого количества пектиновых веществ в виде уроновой кислоты свидетельствует о диетических свойствах дайкона. Аналогично топинамбуру дайкон можно использовать в лечебно-профилактическом лечении больных диабетом и при облучении [8].

Кроме того, дайкон содержит эфир изородановой кислоты, которая, в соответствии с последними научными исследованиями, помогает в лечении рака. Снижение перекисного окисления липидов и модификация ДНК у крыс при приеме прорастающего дайкона или имбиря показывает, что эти овощи обладают антиокислительным эффектом, который может быть связан с ингибированием канцерогенеза [11].

Эпидемиологические и экспериментальные исследования показывают, что класс фитохимических соединений, который придает характерный острый вкус и резкий запах для крестоцветных овощей, таких как дайкон, обладает противоопухолевыми и противовоспалительными свойствами [12].

Сок дайкона может быть использован как эффективное мочегонное средство и натуральное слабительное. Благодаря антибактериальным и антивирусным свойствам дайкона, его сок эффективен при лечении самых разных болезней дыхательных путей, включая простуду, грипп, хронический кашель, астму и бронхит [9].

Дайкон полезен для профилактики и лечения атеросклероза, различных сердечнососудистых заболеваний, так как выводит из организма избыточный холестерин. Лечебный эффект проявляется при длительном потреблении дайкона [9].

Благодаря наличию серы стакан сока, приготовленного из дайкона, перед каждым приемом пищи благотворно сказывается на здоровье печени и желчного пузыря, которая увеличивает выработку желчи и способствует тем самым быстрому перевариванию жиров [12].

В ИОФХ им. А.Е. Арбузова проводятся исследования по выделению из корнеплодов дайкона пектиновых полисахаридов и изучению их физико-химических свойств [5]. Авторами установлено, что выделенные пектины отличаются очень высокой желирующей способностью, заметно превышающую таковую даже яблочного пектина. При сравнении пектинов, выделенных из сока и жома сырых корнеплодов дайкона, выявили более высокое содержание пектиновых веществ в жоме – 7.1%.

1.1.4 Применение корнеплодов дайкона

Одно из ключевых полезных свойств дайкона – очистка почек и печени, защита печени от перегрузок. В дайконе в большом количестве содержатся фитонциды, ингибирующие жизнедеятельность микроорганизмов и способствующие защите организма человека от инфекционных заболеваний. В нем найдены специфические белковые вещества, обладающие антисептическими и бактерицидными свойствами. Эти особенности дайкона обусловлены лизоцимом, содержащимся в нем. Дайкон рекомендован для профилактического лечения больных сахарным диабетом и при облучении. При употреблении его в сыром виде он способен выводить радиационные

элементы. Полезны успокоительные свойства сока дайкона при расстройстве сна. Лечебный эффект проявляется при длительном употреблении дайкона [9].

С содержанием в корнеплодах дайкона тиоглюкозидов связано известное в народной и научной медицине применение его наравне с редькой и хреном как бактерицидного и лечебного средства при заболеваниях печени и почек, способного растворять камни [8].

Дайкон повышает аппетит, выводит шлаки, укрепляет волосы, ускоряет заживление гнойных ран, помогает избавиться от веснушек. Наружно его можно принимать в виде компрессов, примочек, растираний. В сочетании с морковью и свеклой дайкон замечательно помогает при малокровии. Дайкон в сочетании с сахаром очень хорошо помогает при аритмии сердца, кормящим матерям, так как усиливает лактацию. Не менее эффективен сок дайкона при камнях в почках, мочевом и желчном пузыре. Корни дайкона используют в пищу в сыром, вареном и соленом видах. Из дайкона полезны салаты с морковью, пастернаком, скорцонерой, яблоками, с медом, растительным маслом, сметаной или майонезом. Употреблять тертый дайкон надо сразу после приготовления, иначе через полчаса половина целебных свойств пропадет. Добавляют тертые корни дайкона в овощные супы, к жареной рыбе, к мясному супу и др. [9].

Особенно интересен дайкон для хлебопекарной промышленности наличием в своем составе лизоцима, натурального и безопасного ингибитора микробиологической порчи.

Лизоцим стимулирует активность макрофагов и клеток крови; восстанавливает поврежденные ткани; снижает токсическое действие иммунодепрессоров на клетки; проявляет противовоспалительное, иммунорегулирующее, антитоксическое и даже противоопухолевое действия [13].

В организме человека и животных лизоцим присутствует постоянно. Это эндогенный фермент, вырабатываемый клетками организма. До 20% фермента содержится в почках, богаты лизоцимом слезы, слюни, костный мозг, хрящевая ткань, стенка тонкого кишечника, легочная ткань [13].

Также существуют возможности для использования побочных продуктов дайкона с низким содержанием сухого вещества в качестве корма для жвачных животных [14].

Проведенный литературный обзор позволяет сделать вывод, что нетрадиционное сырье – дайкон – это ценный диетический продукт, содержащий белки, витамины и другие полезные вещества. Сок дайкона богат фруктозой, в связи с чем, является ценным продуктом для лечения и профилактики диабета.

В связи с вышесказанным, целесообразной является комплексная переработка корнеплодов дайкона, включающая получение сока, пектина и рациональное использование обеспектиненного жома.

Предложенный в данной работе способ переработки корнеплодов дайкона является экологически безопасным и ресурсосберегающим, что соответствует приоритетному направлению развития науки, техники и технологий РФ «Рациональное природопользование».

1.2. Пектины: структура, свойства и применение

1.2.1 Определение и строение пектиновых полисахаридов

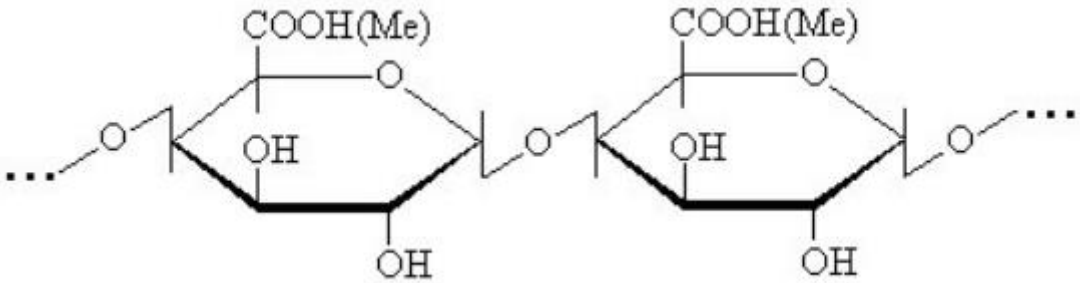
Пектиновые вещества входят в состав практически всех растений, являются их основными функциональными компонентами, выполняют в растениях множество различных жизненно важных функций и характеризуются широким спектром физиологической активности. Пектины, выделяемые из непищевых растений, представляют основу ряда лекарственных средств и биологически активных добавок, а из пищевых растений являются важным компонентом рациона человека. Последние входят в группу так называемых «пищевых волокон» с большим сродством к организму человека, выработанным за многовековой период их потребления. Они практически не токсичны, недостаток их в рационе питания человека приводит к серьезным нарушениям в обмене веществ [15].

Пектины включают в себя как составляющие компоненты нерастворимого протопектина, так и растворимые полисахариды соков растений [15].

Они входят в состав растительных клеток в виде частично метилэтерифицированных по карбоксилу биополимеров часто в виде солей натрия, кальция и магния. Вместе с другими компонентами клеточных стенок растений они обеспечивают их прочность и растяжимость, предохраняют растения от высыхания, обеспечивая засухоустойчивость и морозостойкость, выполняют защитную роль во взаимоотношениях растений с фитопатогенами, способствуют ликвидации повреждений и выходу растения из состояния стресса. Их макромолекулы являются определяющими в прорастании семян и роста растений, в созревании и хранении овощей и фруктов, а структура может существенно меняться в процессе роста и развития растения. Они характеризуются нерегулярным типом строения и рассматриваются как один из самых сложных и динамичных по структуре класс биополимеров [15].

Пектиновые вещества, как отдельная группа соединений, были открыты в 1825 г. Браконо, который и дал им название “пектин” (от греческого слова “pektos” – свернувшийся, застывший).

Пектиновые вещества включают нерастворимый протопектин, растворимые пектиновые полисахариды и сопутствующие им галактаны, арабинаны и арабиногалактаны [15]. Пектиновые полисахариды (пектины) входят в большую группу гликаногалактуронанов – кислых растительных полисахаридов, главную углеводную цепь которых составляют 1,4-связанные остатки α-D-галактопиранозилуроновой кислоты (рисунок 1).



где Me – метильная группа

Рисунок 1 – Структурная формула пектина

Многие зарубежные ученые [16] на основании изучения продуктов гидролиза пектиновых производных сделали заключение, что между блоками галактуроновой кислоты вклиниваются остатки *L*-рамнозы.

Несмотря на разнообразие пектинов в природе, в последние годы их делят на несколько больших классов: 1) гомогалактуронаны; 2) рамногалактуронан I; 3) рамногалактуронан II; 4) апиогалактуронаны; 5) ксилогалактуронаны; 6) кислые арабино-3,6-галактаны [17]. Совершенно линейные галактуронаны (рис. 1) выделены из корзинок подсолнечника, яблок, сахарной свеклы, моркови, капусты, лимона, еловой хвои, люцерны, семян рапса [18].

Существует предположение, что исходным мономером при синтезе галактуронанов является метилгалактуронат и исходный пектин имеет 100% метилированных карбоксилов, а потом происходит их частичный гидролиз ферментами пектинметилэстеразами [6].

Нативные галактуронаны имеют степень этерификации по карбоксилам до 70-80%. Степень этерификации влияет на растворимость полисахарида, его гелеобразующую способность. Ферменты полигалактуроназы расщепляют только деметилированные молекулы. Отдельные остатки *D*-галактуроновой кислоты могут быть ацетилированы по 2-му и 3-му гидроксилам, что отображено на рисунке 2 [6].

В синтезе гомогалактуронанов задействованы как минимум три фермента: гомогалактуронангалактуронозилтрансфераза, гомогалактуронанметилтрансфераза и гомогалактуронанацетилтрансфераза.

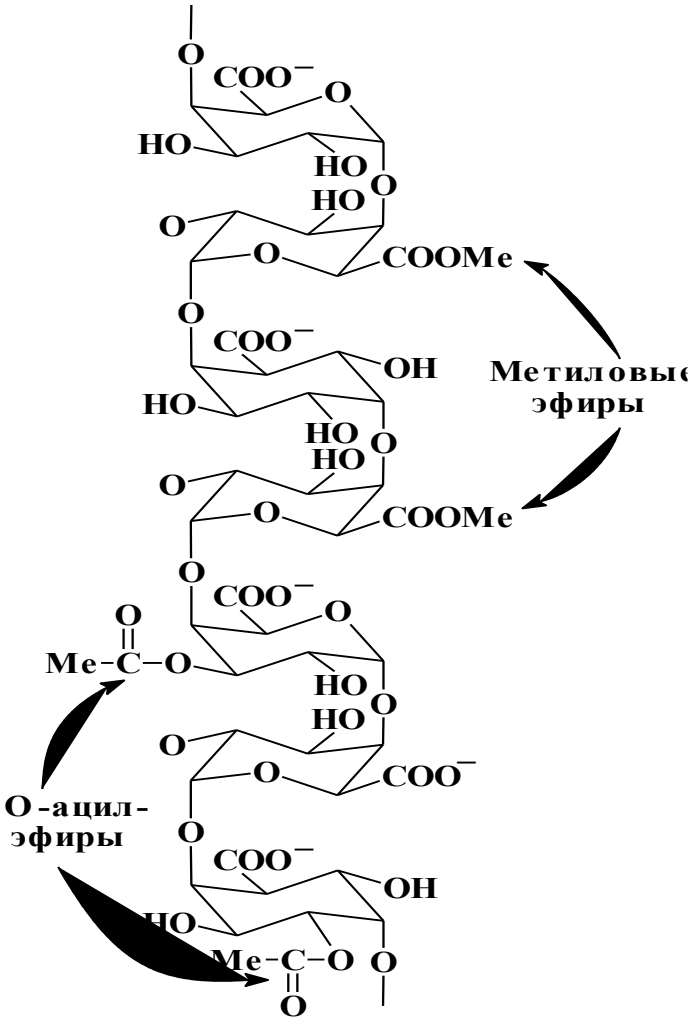


Рисунок 2 – Положение сложноэфирных групп в молекулах пектинов [6]

Пектины – это одни из сложнейших и динамичных по структуре классов природных соединений. И хотя основные черты их химической структуры выяснены, особенности строения остаются недоступными для выяснения с помощью существующих структурных методов исследования углеводных биополимеров. Однако часто именно они играют определяющую роль в физиологической активности и проявлении физических свойств этих соединений [19].

Мировой рынок пектиновых веществ в настоящее время оценивается в объеме около 319 млн долл. США. Однако в последние годы спрос на пектин увеличивается, так как области его использования расширяются. Наблюдается устойчивый рост потребления пектина в среднем на 10-15% в год [20].

Мировое производство пектина составляет свыше 30 тыс. т, причем основная доля приходится на несколько компаний. Основные страны-производители и поставщики пектиновых веществ представлены на рисунке 3. Крупнейшими производителями пектина являются CP Kelco (США), Cargill (США), объединение двух независимых производителей пектина CITRICO (Германия) и DEGUSSA «Пищевые Ингредиенты» (Франция), Danisco (Дания), Obipectin (Швейцария), Herbsteith&Fox (Германия). В качестве сырья для получения коммерческого пектина традиционно используют цитрусовые и яблочные выжимки, а также свекловичный жом [21].

В небольших количествах пектин производят также в Малайзии и Японии [20]. Компания Andre Pectin (Китай) является лидером по производству пектинов в Азиатско-Тихоокеанском регионе. В ассортименте компании преобладают яблочные, цитрусовые и яблочно-цитрусовые пектины [20].

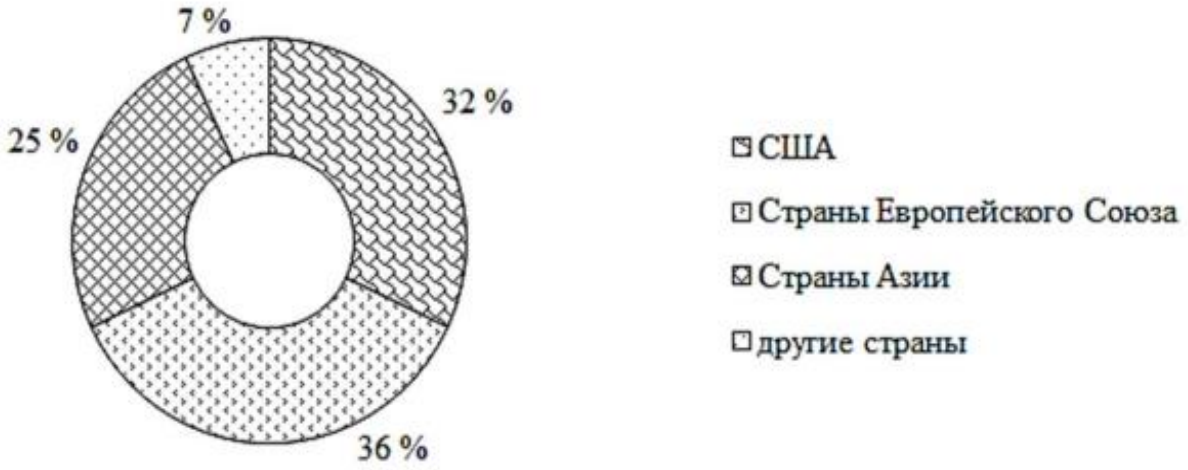


Рисунок 3 – Основные производители и поставщики пектиновых веществ

В России на сегодняшний день крупномасштабное производство пектина отсутствует, поэтому отечественными учеными активно ведутся исследования, направленные на разработку технологии выделения пектинов как из традиционного, так и нетрадиционного сырья.

1.2.2 Физико-химические свойства пектиновых полисахаридов

Пектиновые полисахариды в зависимости от вида сырья и способа получения экстрагируются в виде различных полисахаридных фракций,

проявляют различные физико-химические и гидродинамические свойства, которые определяют направление их применения [22].

Характерными показателями пектина являются: молекулярный вес, метоксильное число, ацетильное число, растворимость в воде, вязкость золя, желеобразующая и комплексообразующая способности [9].

Ввиду того, что каждый пектин представляет собой смесь молекул с разной длиной цепи, может быть установлен только средний молекулярный вес. Различия в молекулярном весе пектинов зависят не только от его источника, но и от способа получения, вызывающего различную степень деградации молекулы [23].

Метоксильное число имеет большое значение для желирующих свойств пектина. Для желеобразующего пектина установлена норма содержания метоксильных групп не ниже 7%.

В пектине значительно в меньшем количестве содержатся ацетильные группы. Ацетильное число колеблется в широких пределах: от сотых долей процента до 2,5%. Ацетильные группы оказывают отрицательное влияние на желирование. Установлены допустимые пределы содержания ацетильных групп для студнеобразующего пектина – не более 1% [9].

Показателем, характеризующим качество пектина и направления его использования, является степень этерификации (метоксилирования), определяющая такие свойства пектиновых веществ, как растворимость, студнеобразование, способность вступать в реакцию с ионами металлов [11]. Согласно ГОСТ Р 51806-2001, высокоэтерифицированным называется пектин, в котором степень этерификации карбоксильных групп в молекуле полигалактуроновой кислоты равна или более 50%.

Степень этерификации полигалактуроновой кислоты меняется в широких пределах в зависимости от источника получения и способа извлечения – от полностью лишенной метоксильных групп (пектовой кислоты) до полностью замещенных всех карбоксильных остатков полигалактуроновой кислоты [9]. Степень метоксилирования показывает отношение метоксильных групп галактуроновой кислоты ко всем кислотным остаткам в молекуле [24].

Лучшим растворителем пектиновых веществ является вода. Также они растворяются в 84%-ной фосфорной кислоте и жидком аммиаке; в глицерине

и формамиде – набухают. В остальных органических и неорганических растворителях они практически нерастворимы.

Растворимость пектина в воде возрастает с увеличением степени этерификации и с уменьшением степени полимеризации. Из двух пектинов с одинаковой длиной цепи легче растворим тот, у которого выше метоксильное число; из двух пектинов одинаковой степени этерификации легче растворим обладающий меньшим молекулярным весом [25].

Одной из самых характерных особенностей пектиновых растворов, как и других лиофильных коллоидов, является вязкость. Она возрастает при увеличении концентрации пектина. Свойство пектинов не диффундировать из растворов через клеточные мембраны растений используют при получении пектиносодержащих студнеобразователей с высоким содержанием чистого пектина. Вязкость увеличивается при повышении температуры и увеличении размера молекул. Поведение пектина с содержанием метоксильных групп 20–50% аналогично поведению высокомолекулярных веществ. Пектин с содержанием метоксильных групп выше 50% проявляет в растворах вязкость, характерную для низкомолекулярных соединений [25].

Функциональные свойства пектинов

Характерным и важным свойством пектина является его способность давать студни. Способность к студнеобразованию в присутствии сахара и кислоты определяется по количеству сахара, которое связывает единица пектина, образуя студень данной прочности [26].

Желирующая способность пектина растительного, широко используемая пищевой промышленностью, у разных растений далеко не одинакова и зависит от относительной молекулярной массы пектина, от степени метоксилирования остатков галактуроновой кислоты, концентрации сахара в растворе, температуры и pH среды [27].

В водных растворах молекула пектина имеет форму спирали, карбоксильные группы которой расположены друг под другом. Изменения в форме молекулы пектина связаны с диссоциацией свободных и нейтрализованных карбоксильных групп. При электролитической диссоциации карбоксильные группы получают отрицательный заряд, вследствие чего между ними возникают силы отталкивания. Эти силы

отталкивания выпрямляют спиральную молекулу и увеличивают ее линейные размеры и вязкость. Высокая вязкость плодово-ягодных соков обусловливается в основном присутствием в них пектиновых веществ [28].

Пектин обладает способностью образовывать различные виды гелей. Основные два типа гелей образуются в присутствии сахара и кислоты или при взаимодействии с поливалентными металлами [28].

В гелях первого типа при добавлении кислоты диссоциация карбоксильных групп подавляется, чем уменьшаются силы отталкивания. Добавление сахара как дегидратирующего вещества нарушает сольватацию, наступает взаимное сближение частичек пектина − золь переходит в гель, при этом образуется сетка пектиновых молекул, в которой блокируется сахарный раствор [29].

Комплексообразующая способность пектина основана на взаимодействии свободных ионизированных карбоксильных групп пектина с ионами поливалентных металлов, с образованием устойчивого малодиссоциирующего комплекса [30].

Комплексообразующая способность пектина растет пропорционально числу неэтерифицированных карбоксилов и росту pH [24].

1.2.3 Способы получения пектиновых веществ

Известно множество способов получения пектина, но все они базируются на гидролизе содержащегося в растительном сырье нерастворимого в воде протопектина, экстракции пектина и последующем выделении целевого продукта из экстракта любым способом, обеспечивающим необходимое качество готового пектина. В большинстве случаев гидролиз и экстракция протекают параллельно [31].

Гидролиз растительного сырья

Гидролиз растительного сырья – каталитический процесс взаимодействия полисахаридов растительных тканей с водой, проводимый с целью превращения нерастворимых в воде полисахаридов в растворимые монозы. Этот процесс является основой гидролизных производств, назначение которых производить пищевые, кормовые и технические продукты из непищевого растительного сырья [32].

На гидролиз растительного сырья могут влиять следующие свойства сырья: нейтрализующая способность, соотношение легкогидролизуемой гемицеллюлозы и целлюлозы, количество и скорость гидролиза сложногидролизуемых материалов, длина макромолекул, степень полимеризации целлюлозы, конфигурация цепи целлюлозы и связь целлюлозы с другими защитными полимерными структурами внутри стенки растительной клетки, такими как лигнин, пектин, гемицеллюлоза, белок, минеральные элементы и т. д. Размер частиц также является одним из эффективных параметров [33].

Для получения пектиновых веществ используют различные способы и виды растительного сырья, состав и структура которого оказывают существенное влияние на свойства пектинов. Извлечение их из растительного материала производится в следующем порядке: консервирование сырья, его предварительная обработка, гидролиз-экстрагирование, осаждение, очистка и сушка пектинов. Следует отметить, что большое разнообразие технологий имеет свои особенности, и ни одна из них не является совершенной, что вызывает необходимость дальнейшего их улучшения. Предварительная обработка сырья направлена на увеличение эффективности процессов гидролиза-экстрагирования [34].

Существует кислотный и ферментативный способы гидролиза растительного сырья.

Описание кислотного гидролиза полисахаридов

Химический гидролиз представляет собой обработку сырья химическими реагентами в течение определенного периода времени при определенной температуре и приводит к образованию мономеров сахара и полимеров гемицеллюлозы. В химическом гидролизе преимущественно применяются кислоты [33].

Наиболее дешевый способ разрыва связей в макромолекулах целлюлозы и гемицеллюлозы обеспечивают минеральные кислоты, чаще всего, серная либо соляная. Однако их применение увеличивает риск коррозии металлического оборудования, задействованного в работе технологического цикла. Доказано, что катионы Cu^{2+}, Fe^{2+}, Ni^{2+} и некоторых других металлов ингибируют рост промышленных микроорганизмов. Не подвергаясь какой-либо существенной биотрансформации, такие ингибиторы

крайне медленно высвобождаются из биохимических циклов живой клетки [35]. Таким образом, надо тщательно подбирать материал для производства реакторов, используемых при кислотном гидролизе [33].

Преимущество кислотного гидролиза состоит в его простоте, однако он предъявляет крайне высокие требования к соблюдению технологии и главное качеству и точности дозировок реагентов [36].

Кислотный гидролиз можно разделить на две группы: гидролиз концентрированной кислотой, и разбавленной кислотой [33].

Гидролиз концентрированными кислотами

Гидролиз лигноцеллюлозы концентрированной серной или соляной кислотой является относительно старым процессом. Браконно в 1819 году впервые обнаружил, что целлюлоза может быть преобразована в сбраживаемый сахар при помощи концентрированных кислот. Они использовали одноступенчатый гидролиз концентрированной серной кислотой и гидролиз жидкой или паровой фазами концентрированной соляной кислотой [32].

Сообщалось, что использование концентрированной кислоты, приводит к более высокому выходу сахара (например, 90% от теоретического выхода глюкозы) и, следовательно, более высокому выходу этанола, по сравнению с процессами, где использовалась разбавленная кислота. Кроме того, процессы с использованием концентрированных кислот могут происходить при низкой температуре (например, 40 °C), что является явным преимуществом. Тем не менее, в этом методе концентрация кислоты очень высока (30-70%), разбавление и нагревание концентрированной кислоты в процессе гидролиза приводят к высокой степени коррозии оборудования. Таким образом, процесс требует либо дорогих сплавов, либо специализированных неметаллических конструкций, таких как керамика или облицовка угольным кирпичом. Восстановление кислоты является энергоемким процессом. Кроме того, при использовании серной кислоты, в процессе нейтрализации образуется большое количество гипса. Более того, применение соляной кислоты сильно ограничивается вредным воздействием на окружающую среду. Высокие инвестиционные затраты и стоимость технического обслуживания значительно снижают потенциальную коммерческую заинтересованность в этом процессе [32].

Несмотря на недостатки, процесс обработки концентрированной кислотой все еще вызывает к себе интерес. Голландская исследовательская группа использует ее в процессе, называемом "Biosulfurol". В этом процессе, биомасса пропитывается 70% серной кислотой и затем гидролизуется с добавлением воды. Кислоту затем частично извлекают при помощи анионных мембран, а частично в виде H_2S при анаэробной очистке сточных вод. Процесс, как утверждается, обладает низкой общей стоимостью [32].

Гидролиз разбавленными кислотами

Среди химических методов гидролиза, гидролиз разбавленными кислотами является, вероятно, наиболее широко применяемым. Это метод, который может быть использован либо как предварительная обработка, предшествующая ферментативному гидролизу, или в качестве фактического способа гидролиза лигноцеллюлозы для получения сахаров. Первый процесс гидролиза разбавленной кислотой, вероятно, был проведен Шоллером. Это периодический процесс, в котором древесный материал находился в 0,5% серной кислоте при давлении 11-12 бар в течение примерно 45 минут. В настоящее время большинство процессов гидролиза разбавленной кислотой проводят в периодическом режиме с временем удерживания в несколько минут [32].

Реакторы периодического цикла являются наиболее широко используемыми для изучения кинетики гидролиза и для лабораторного и экспериментального исследования производства этанола из лигноцеллюлозных материалов. Примером кинетического исследования одноэтапного гидролиза разбавленной кислотой, является использование 0,5% серной кислоты при температуре 188-234 °C и времени удерживания 7 минут. Значительная часть гемицеллюлозы (более 80%) может быть гидролизована разбавленной кислотой при температуре ниже 200 °C, а максимальный общий выход глюкозы при температуре выше, чем 220 °C. Это связано с большей устойчивостью целлюлозы к гидролизу.

Основным недостатком процесса гидролиза разбавленной кислотой, особенно одноэтапного, является деградация сахаров в реакции гидролиза и образование нежелательных побочных продуктов. Это не только снижает выход сахара, но некоторые из побочных продуктов также сильно ингибируют образование этанола в ходе процесса ферментации. Возможные

ингибиторы, которые могут быть сформированы во время гидролиза разбавленной кислотой – это фурфурол, 5-оксиметилфурфурол, левулиновая кислота, уксусная кислота, муравьиная кислота, уроновая кислота, 4-гидроксибензойная кислота, ванилиновая кислота, ванилин, фенол, коричный альдегид, формальдегид и т.д. Некоторые ингибиторы, такие как терпеновые соединения, первоначально присутствуют в древесине, но, по-видимому, большинство ингибиторов образуются в процессе гидролиза [32].

Для того, чтобы избежать деградацию моносахаридов при высоких температурах и формировании ингибиторов, гидролиз разбавленной кислотой проводят в два (или более) этапа. На первом этапе, который должен быть проведен при относительно мягких условиях, гемицеллюлоза превращается в мономер сахара. Это как этап предварительной обработки разбавленной кислотой. На втором этапе, остаточное твердое вещество подвергают гидролизу в более жестких условиях. Во время одноступенчатой предварительной обработки, поддерживается температура от 140 до 170 °C, но также можно провести две обработки при примерно 120 °C в течение более длительного времени [32].

При использовании разбавленной кислоты обычно предпочитают двухэтапный процесс одноэтапному процессу, потому что:

а) поэтапный гидролиз целлюлозы и гемицеллюлозы приводит к более высокому выходу сахара. Кроме того, на втором этапе гидролиза можно получить продукт с высоким содержанием гексоз, который легко можно ферментировать в этанол. Смесь пентоз и гексоз, как правило, трудно поддается ферментации, из-за сложности ферментации пентоз.

б) потребление энергии должно быть минимизировано, так как жидкость удаляется перед вторым этапом гидролиза.

в) полученный раствор сахара должен быть более концентрированным.

г) в процессе двухэтапного гидролиза образуются меньше ингибиторов.

Как правило, максимальный выход пентоз и гексоз, выделенных из гемицеллюлоз на первом этапе гидролиза довольно высок (80-95% от общего объема сахара), в то время как при гидролизе целлюлозы в глюкозу, выход, как правило, низкий (40-60%). Тем не менее, низкий выход глюкозы не является серьезной проблемой из-за низкой цены лигноцеллюлозных материалов, а также возможности сушки и сжигания остаточной целлюлозы

и лигнина в энергетических комплексах для производства электроэнергии и тепла.

Механизм кислотного гидролиза

В гидролитических реакциях в качестве субстрата могут выступать полисахариды, поскольку содержат «ангидридные связи», которые могут расщепляться по общей схеме:

$RR_1 + H – OH = RH + R_1OH$

При кислотном гидролизе катализатором служит протон, существующий в водных растворах кислот в гидратированной форме - в виде иона гидроксония $H_2O + H^+ \rightarrow H_3O^+$. Чем больше в растворе содержится ионов водорода, тем быстрее идет гидролиз. Поэтому в качестве катализаторов гидролиза применяют сильные минеральные кислоты с большой степенью диссоциации. Скорость реакции гидролиза растет прямо пропорционально активности кислоты: $HCl>HJ>HBr>H_2SO_4>HNO_3>H_3PO_4>HCOOH>CH_3COOH$ [37].

Описание ферментативного гидролиза

К настоящему времени ферментативные технологии стали одним из наиболее эффективных средств трансформации многих видов биологического сырья. Применение ферментов в качестве биокатализаторов позволяет существенно расширить сырьевую базу пищевой промышленности и кормопроизводства, повысить глубину переработки сырья, создать новые виды пищевых продуктов и кормов, а также улучшить усвояемость и органолептические свойства известных. Кроме того, переход от традиционных химических к биотехнологическим методам во многих случаях становится единственной возможностью для создания малоотходных технологий и экологически чистых производств [38].

Ферментативный гидролиз является перспективным методом переработки растительной биомассы. Однако при проведении ферментативного гидролиза лигноцеллюлозных материалов в их нативном виде выход сахаров достигает менее 20% от теоретически возможного [39].

В основу растительной биомассы входят целлюлоза, гемицеллюлоза и лигнин.

Целлюлоза (клетчатка) – это полисахарид, образованный остатками глюкозы, главная часть клеточных стенок растений, обуславливающая механическую прочность и эластичность растительных тканей. В природе разложение целлюлозы осуществляют организмы, имеющие целлюлазу.

Гемицеллюлоза – это высокомолекулярный полисахарид, отличающийся от целлюлозы тем, что легко гидролизуется слабыми растворами минеральных кислот. Как и целлюлоза, достаточно пластична. Входит в состав клеточной стенки как структурный материал, а также откладывается в ней как запасное вещество.

Лигнин – это сложное безуглеводное вещество, встречающееся в древесных тканях растений, часто в соединении с целлюлозой. Укрепляет стенки клетки, тем самым помогая сопротивляться сжатию и напряжению. Именно лигнин придает древесине прочность. Для того, чтобы получить чистую целлюлозу для производства бумаги и вискозной бумаги, лигнин из древесины надо удалить. Он является источником получения ванилина, белого кристаллического альдегида, используемого в качестве приправы, а также в парфюмерной и фармацевтической промышленности.

Ферментативный гидролиз является наиболее перспективным и продуктивным способом проведения процесса гидролиза. Условия проведения ферментативного гидролиза гораздо более «щадящие» по сравнению с кислотным и щелочным. При проведении ферментативного гидролиза практически не наблюдается разрушения аминокислот, за счет того, что они не вступают в дополнительные реакции. Это является важным преимуществом [40].

Преимущества ферментативного гидролиза следующие: мягкие условия, отсутствуют затраты на реагенты, экологическая безопасность технологии и обеспечение эффективной деструкции [41].

На эффективность ферментативного гидролиза существенное влияние оказывает подготовка сырья, так как необходимым условием гидролитической реакции является непосредственный контакт (физический) между ферментом и субстратом. Такой контакт «фермент-субстрат» может быть достигнут только диффузией молекул фермента к доступным участкам поверхности целлюлозы. Известно, что эффективность ферментативного гидролиза возрастает с увеличением общей поверхности растительного

субстрата и со снижением содержания сопутствующих компонентов (лигнина) [42].

К факторам, оказывающим влияние на эффективность протекания ферментативного гидролиза целлюлозных субстратов, относятся характеристики субстратов, условия проведения реакции (температура и кислотность среды), активность используемого целлюлазного комплекса [43].

Концентрация субстрата – один из главных факторов, оказывающих влияние на выход и начальную скорость ферментативного гидролиза.

При пониженной начальной концентрации субстрата, концентрация сахаров в гидролизате, и, соответственно, концентрация полученных из них биопродуктов не может быть высокой. Исследование ферментативного гидролиза при повышенной начальной концентрации субстрата является важным этапом для масштабирования этого процесса до пилотного промышленного производства. Проведение гидролиза при повышенных начальных концентрациях субстрата позволяет не только получить высокую концентрацию сахаров и биопродуктов, но и исключить дополнительные операции для концентрирования гидролизатов (упаривания и других технологических процессов). Однако при ферментолизе целлюлозосодержащих субстратов при повышенных исходных концентрациях возникает ряд проблем. В частности, авторами показано, что повышение концентрации субстрата выше определенного оптимального значения, что приводит к снижению скорости реакции и выхода сахаров по причине субстратного ингибирования ферментов, степень которого пропорционально зависит от отношения количества субстрата к ферменту. Кроме того, при повышении концентрации субстрата возрастает вязкость системы, следовательно, возникают трудности массопереноса ферментов [43].

Ферментативный гидролиз нередко рассматривается в качестве самостоятельного способа получения новых фундаментальных знаний о поведении субстратов – целлюлозосодержащего сырья или его продуктов переработки, т.е. в «мягких» условиях проведения реакции (pH среды в диапазоне 4-5, температура от 40 до50 ^{o}C, продолжительность от 48 до 144 ч,

биокатализ индивидуальными ферментами, ферментными препаратами и (или) мультиэнзимными композициями) [44].

Для практического использования процессов ферментативного гидролиза целлюлозосодержащего сырья необходимы получение высокоактивных ферментных препаратов, активация исходных субстратов, выбор оптимальных параметров процесса ферментации [39].

Ферментативный гидролиз был исследован с целью солюбилизации белков протеолитическими ферментами, ксилоолигосахаридовксиланазой, получения глюкозы смесью гидролаз, включающей ферулоилэстеразу отдельно или вместе с ксиланазой [45].

Ферментативный гидролиз пектинсодержащего растительного сырья может быть проведен одним из двух путей: с помощью целлюлаз и гемицеллюлаз или пектолитическими ферментами. При гидролизе целлюлозы облегчается выход комплекса полигалактуроновой кислоты и гемицеллюлоз из клеточных стенок. Гидролиз гемицеллюлаз приводит к повышению содержания полигалактуроновой кислоты в выделяемом пектине. При отсутствии в используемых ферментных препаратах пектолитических ферментов полигалактуроновая кислота пектина не расщепляется, а степень ее этерификации не изменяется. Одновременно с этим из сырья выделяются растворимые формы пектина, если они не извлечены на предшествующих стадиях переработки сырья. Второй путь – гидролиз пектолитическими ферментами – приводит к вырезанию с помощью эндо-ПГ фрагментов полигалактуроновой кислоты из состава протопектина. При этом структура комплекса целлюлозы и гемицеллюлозы не затрагивается, что физически затрудняет процесс экстракции пектина, но позволяет получать его препараты с более высоким относительным содержанием полигалактуроновой кислоты. В этом варианте технологии можно ограничить степень гидролиза пектина в процессе экстракции, с тем, чтобы получить продукт достаточно высокой молекулярной массы. Большинство пектиназ эндо-типа синтезируются в сочетании с пектинэстеразой, которая необходима для проявления их активности. В препаратах пектолитических ферментов соответственно присутствуют оба вида ферментов [46].

Характеристика ферментов и их классификация

Ферменты – это специфические белки, выполняющие в живом организме роль биологических катализаторов.

Все ферменты разделили на 6 классов, каждый из которых состоит из 4–13 подклассов: оксидоредуктазы, трансферазы, гидролазы, лиазы, изомеразы, лигазы (синтетазы) [47].

1. Оксидоредуктазы – это ферменты, катализирующие окислительно-восстановительные реакции с участием двух субстратов.
2. Трансферазы – это ферменты, катализирующие реакции межмолекулярного переноса группы X (отличной от атома водорода) с субстрата A на субстрат B.
3. Гидролазы – это ферменты, которые катализируют расщепление внутримолекулярных связей с участием воды.
4. Лиазы – это ферменты, отщепляющие группы от субстратов по негидролитическому механизму с образованием двойных связей и присоединением веществ по месту двойной связи.
5. Изомеразы катализируют превращения различных типов оптических, геометрических и позиционных изомеров.
6. Лигазы катализируют соединение двух молекул, сопряженное с разрывом пирофосфатной связи АТФ или другого макроэргического соединения.

1.2.4 Способы интенсификации процесса гидролиза – экстракции пектинов

Экстрагирования ультразвуком

Одним из ноу-хау при производстве пектина является воздействие ультразвуковых частот на сырье [48].

Ультразвук – это звуковые колебания с частотой, превышающей частоту, воспринимаемую человеческим ухом (т.е. выше 16 кГц). Существуют две четко различающиеся области применения ультразвука: а) высокочастотный, или диагностический ультразвук (2 - 10 МГц); б) низкочастотный, или мощный, ультразвук (20 - 100 кГц) [49].

В основе применения при производстве пектина при экстрагировании пектиновых веществ из сырья и очистке пектиновых веществ заложены элементы нанотехнологии. На этапе экстрагирования происходит

молекулярное взаимодействие активированной молекулы воды с гидратными оболочками частиц растительной ткани, удерживающей молекулу пектина. Таким образом, осуществляется безреагентный химико-физический процесс извлечения пектиновых веществ на уровне наночастиц [48].

Применение ультразвука позволяет:

– существенно повысить скорость определенных этапов технологического процесса;

– увеличить процент выхода экстрагированных веществ [48].

В статье [50] использование ультразвуковой обработки яблочных выжимок позволяет повысить эффективность экстракции пектина более чем на 20%.

Автором [51] предложен метод ультразвуковой кавитации в качестве интенсификатора кислотного гидролиза пектиновых веществ из отходов сахарного и масло-жирового производства (свекловичный жом, корзинки подсолнечника). Гидролизующими агентами служили серная и соляная кислоты. Показано, что при интенсивности кавитационого воздействия 4 Вт/м^2 и значениях pH для соляной кислоты 4,5, а серной – 4,0 достигается высокая студнеобразующая способность пектинов. Использование ультразвуковой кавитации позволяет значительно снизить расход сильных кислот по сравнению с традиционными технологиями.

В статье [52] авторами исследовано влияние ультразвука на молекулярную массу яблочного пектина. Структура и реологические свойства продуктов разложения также были предварительно определены с помощью высокоэффективного жидкостного хроматографа-фотодиодного детектора (ВЭЖХ), инфракрасной спектроскопии (ИК), спектроскопии ядерного магнитного резонанса (ЯМР) и реометра. Результаты показали, что средневесовая молекулярная масса яблочного пектина заметно уменьшилась после обработки ультразвуком. Интенсивность ультразвука и температура играют важную роль в реакции деградации. Степень метилирования яблочного пектина снижалась по данным ИК-анализа при применении ультразвука. Ультразвуковая обработка не смогла изменить первичную структуру яблочного пектина в соответствии с результатами, определенными с помощью ВЭЖХ, ИК и ЯМР [52].

Экстрагирование пектина в аппаратах РПА

Процесс гидролиза-экстракции пектина из растительного сырья проводят в роторно-пульсационном аппарате, позволяющем интенсифицировать данный процесс.

Использование роторно-пульсационных аппаратов позволяет проводить технологические процессы при меньших температурах, чем в традиционно используемых технологиях, существенно уменьшить продолжительность обработки и, соответственно, снизить прямые энергозатраты.

Основы усиления процессов гидролиза-экстракции с использованием экстракторов на базе генератора кавитации роторного типа заложены и развиты в работах В.Ф. Фридмана и В.Н. Голубева [21]. Известно, что параметры экстрагирования свекловичного жома, принятые на производстве, достаточно жесткие: pH 0.5–0.7, 75– 80 °C, время экстрагирования 2 ч. Выход целевого продукта при этом составляет 10–12% в расчете на воздушно-сухую массу. Как показали работы авторов монографии [21], использование гидродинамической кавитации позволило им провести обработку свекловичного жома при pH среды 1.5, 60 °C и времени 30–35 мин. Выход пектина составил 16.5–17% в расчете на массу сухого сырья [21].

С целью увеличения выхода пектина авторами был использован роторно-пульсационный аппарат (РПА) “S-Эмульгатор” [53], в котором генерируется широкий диапазон звуковых частот (0-25 кГц) за счет конструкционных особенностей аппарата. На примере фирменного яблочного пектина производства фирмы “Herbstreit & Fox KG” было выяснено влияние механоакустического воздействия на качественные показатели пектинового полисахарида. Анализ экспериментальных данных показал, что обработка 0.5-1% раствора пектина в течение 6 мин при 40 °C и скорости вращения ротора 66.6- 75 с $^{-1}$ приводит к незначительному (5-10%) изменению молекулярной массы; при этом степень этерификации и уронидная составляющая изменяются в пределах 2-3%. Таким образом, авторами работы [53] показано, что при использовании РПА не происходит ухудшения качественных показателей пектина.

Микроволновое облучение

Использование микроволнового излучения в химии растительного сырья в последнее десятилетие привлекает внимание все большего числа

ученых. Так, авторами работы [54] микроволновое излучение использовано для выделения пектина из кожуры маракуйи. Исследовано влияние условий экстракции на выход пектина методом полного факторного эксперимента. Использование всех исследованных экстрагентов (винная, уксусная и азотная кислоты) приводит к высоким выходам пектина.

В работе [55] был применен эффективный метод микроволновой экстракции для получения пектинового полисахарида из кожуры мандарина с выходом 20%. Оптимальные условия экстракции были следующими: мощность СВЧ 704Вт, температура экстракции 52,2 °С, время экстракции 41,8 мин.

В работе [56] экстракцию с помощью микроволнового излучения авторы применяли для извлечения пектина из высушенной яблочной выжимки. Определяли оптимальные условия экстракции: время – 20,8 мин, pH – 1,01, соотношение твердое вещество/жидкость – 0,069, микроволновая мощность – 499,4 Вт. Выход пектина из высушенной яблочной выжимки (2 г) при оптимальных условиях составил 0,315 г.

1.2.5 Применение пектиновых веществ

Пектины используются в качестве пищевых добавок (Е440) с гелеобразующими и загущающими свойствами в джемах, кондитерских изделиях и т. д. Для обычных джемов, содержащих более 60% сахара и твердых веществ, растворимых фруктов используются высокоэфирные пектины. При использовании низкоэфирного пектина требуется меньше сахара, чтобы можно было приготовить диетические продукты [57].

Свойство пектина образовывать студни широко используется в кондитерской промышленности для производства желе, мармелада, пастилы, зефира и др.В отличие от других студнеобразователей пектиновые вещества образуют студни в водных растворах только в присутствии сахара и кислоты. Количество сахара, необходимое для студнеобразования, изменяется в зависимости от количества и физико-химических свойств пектина, который является основным веществом. Прочные студни получаются в присутствии слабых кислот, таких как винная, при pH в пределах 3.0-3.2 [6].

Применение пектиновых веществ в хлебопечение обусловлено рядом причин. В производстве хлебобулочных изделий пектин используется для

увеличения объема и влагоудержания при хранении, что позволяет получать более мягкие и пористые изделия, улучшить структурно-механические свойства мякиша и повысить его влажность. Таким образом, внесение пектина позволяет продлить срок хранения продукта. Эти ценные свойства пектинов обусловлены его высокой влагоудерживающей способностью, что и позволяет улучшить качественные показатели хлеба. Высокие гидроколлодные свойства связаны с тем, что пектины в процессе поглощения воды конкурируют с крахмалом муки и снижают его гидратацию, а также пектины в процессе выпечки способны выделять влагу, вызывающую клейстеризацию крахмала [50].

Также пектиновые вещества получили распространение в молочной, мясной, рыбной промышленности, при производстве как алкогольных, так и безалкогольных напитков. Применение пектинов улучшает качество колбасы, рыбных суфле, маргариновой продукции [58].

В молочной промышленности пектины очень активно применяются при производстве йогуртов, сыров, мороженого, молочно-фруктовых десертов, сквашенных и подкисленных молочных продуктов. Используется как эмульгатор для изготовления майонеза и жидких маргаринов в масложировом производстве. Применение пектинов в молочной продукции стимулирует рост и активацию полезной микрофлоры. Благодаря широким технологическим возможностям применение пектина открывает множественные перспективы создания новых средств питания полезных для человека [58].

На основе пектина разрабатываются безалкогольные напитки, предотвращающие накопление в организме человека тяжелых металлов, а также способствующие профилактике вызываемых ими заболеваний. Пектин в составе таких напитков находится в гидратированной форме, что способствует более эффективному физиологическому воздействию на человека [20].

Одно из направлений применения пектинов связано с их использованием в фармацевтических технологиях. Вместе с тем большой интерес вызывают результаты экспериментальных и клинических исследований, свидетельствующие о том, что пектины способны проявлять

лечебные и профилактические свойства при ряде заболеваний, не уступая по эффективности некоторым лекарственным препаратам [59].

Пектины признаны абсолютно нетоксичными и фармакологически безопасными биологически активными веществами. Особенно эффективны при заболеваниях, связанных с нарушениями липидного и углеводного обменов [60].

Различные источники цитрусовых растений и способы получения дают пектины с различными характеристиками и что такие факторы, как молекулярная масса, СЭ, кристаллическая структура и соли или кислотные формы различных типов пектина могут влиять на процесс перорального фармацевтического таблетирования, свойства таблетки и высвобождение лекарственного средства из таблеток [61]. Все пектины обладают хорошей плодовитой текучестью и подвергаются пластической деформации под давлением сжатия во время таблетирования. Пектины с более низким процентным содержанием метоксильных групп и более высокими молекулярными массами продуцировали таблетки с более высокой прочностью на растяжение, однако профили твердости по давлению всех типов пектина не влияли на высвобождение лекарственного средства, поскольку увеличение количества пектина уменьшало твердость таблетки. Использование цитрусовых пектинов в качестве разбавителя при низких концентрациях может ускорить высвобождение лекарственного средства, тогда как при высоких концентрациях высвобождение лекарственного средства может быть медленнее из-за набухания.

В медицине пектин используется при лечении желудочно-кишечного тракта, для профилактики сахарного диабета, онкозаболеваний [55, 62]. Противовоспалительные свойства пищевого пектина снижают повреждение желудочно-кишечного тракта [63]. Пектин способствует снижению кровяного давления, выведению из организма холестерина, нормализации обменных процессов, улучшает периферическое кровообращение, перистальтику кишечника, рекомендуется для диетического питания [62].

Установлено, что пектиновые вещества тормозят процессы гниения в кишечнике больше, чем искусственно введенные дезинфицирующие вещества [64].

Также пектиновые вещества применяют в медицине как профилактическое средство, способствуя выведению из организма тяжелых и радиоактивных металлов. Радиопротекторные свойства пектина обусловлены наличием в нем свободных карбоксильных групп, связывающих радионуклиды в кишечнике с образованием стойких соединений, которые не всасываются в кровь и выводятся из организма. В связи с этим низкоэтерифицированный пектин обладает более ярко выраженными радиопротекторными свойствами по сравнению с высокоэтерифицированным. Установлено, что наиболее эффективно выводят радионуклиды и катионы тяжелых металлов, низкомолекулярные пектины со степенью этерификации не выше 25%. Сочетание этого типа пектина с лечебными травами позволило создать новый тип высокоэффективных лечебно-профилактических продуктов [26].

Одним из наиболее интересных и наиболее эффективных применений пектина в медицине является использование их в хирургической практике при лечении ран. Раны, обработанные 2%-ным раствором пектина, не воспаляются и быстро заживают [65].

Наличие гелеобразующих свойств открывает перспективы для создания косметических средств пролонгированного действия. Обнаружено, что совместное использование альгината и пектина позволяет частично ингибировать процесс роста микроорганизмов, что также важно, т.к. текстильные косметические маски используются во влажном состоянии и, также, предполагается возможность их неоднократного использования. Экспериментально было определено, что введение добавок пектина и сорбата калия в количестве 1% способствует достижению более стабильных показателей по микробиологическим показателям [66].

С целью нормализации водного баланса, устранения шелушения и растрескивания пектиновые вещества вводят в косметические препараты для сухой и увядающей кожи (лосьоны, жидкие и густые кремы, губные помады и т.д.) [65].

1.3 Методы повышения эффективности использования сырья

Развитие химической технологии в настоящее время идет по пути комплексного использования сырьевых ресурсов, применения непрерывных

и безотходных процессов с учетом экологической безопасности окружающей среды [67].

Так, одним из направлений решения проблемы сокращения дефицита белка является разработка технологий комплексной переработки растений с получением белково-витаминных добавок – полноценных заменителей дефицитных и дорогостоящих белков животного происхождения в продуктах питания, а также высококачественного корма в виде травяной муки или силоса [68].

Многолетние исследования, проведенные специалистами РГАСХМ совместно с Донским государственным техническим университетом (ДГТУ), позволили обосновать безотходную экономически эффективную технологию комплексной переработки вегетативных органов сеяных трав и отходов полеводства в высококачественные белковые препараты пищевого назначения, кормовые протеиново-витаминные добавки и корма [68].

Комплексная переработка растительного сырья – востребованное направление, активно развивающееся во всех странах. Перечень источников сырья достаточно велик и продолжает расширяться. Несмотря на большое число зарубежных публикаций, посвященных вопросам изучения процессов трансформации легковозобновляемого сырья в коммерческие продукты, отсутствует детальная информация о конкретных технологических установках с перечислением единиц оборудования, описания процессов теплообмена, массообмена, возможности масштабирования процессов и тиражирования установок [69].

В пищевой, фармацевтической, эфиромасличной промышленности крайне неэффективно используется растительное сырье. Многотоннажные отходы производства после получения соков из плодов и ягод, эфирных масел и БАВ практически выбрасывают в отвал. Рациональное использование этих отходов позволит получать ряд БАВ и ценных пищевых продуктов из одного и того же объекта [70].

Использование вторичного растительного сырья для функциональных продуктов питания – важный шаг на пути сокращения потерь при внедрении концепции бережливого пищевого производства. Употребление блюд функционального назначения способствует улучшению состояния здоровья населения. Поэтому необходимо обеспечить, с одной стороны, высокое

качество данной продукции и доступность по цене для потребителей, с другой стороны, рентабельность работы предприятий, чтобы заинтересовать их осваивать новые технологии переработки [71].

В связи с вышесказанным, возникает необходимость создания безотходных или малоотходных производств по комплексной переработке растительного сырья.

1.4 Методы оценки эффективности производства

Эффективность производства относится к числу основных категорий рыночной экономики, она непосредственно связана с достижением конечной цели развития общественного производства в целом и каждого предприятия в отдельности. Экономическая эффективность производства состоит из соотношений результатов деятельности хозяйства и производственных затрат. Основная проблема состоит в том, что повышение экономической эффективности производства зависит от увеличения экономических результатов на каждую единицу затрат в процессе эксплуатации ресурсов [72].

До настоящего времени в экономической науке еще не сложился единый научно-обоснованный взгляд на сущность экономической эффективности производства, что, в свою очередь, не позволяет найти единый подход к выработке системы ее критериев и показателей. Поэтому в современной экономической литературе имеется множество различных методик оценки эффективности [73].

Повышение эффективности производства может достигаться как за счет экономии текущих затрат, так и путем лучшего использования действующего капитала и новых вложений в капитал [72].

Экономическую эффективность работы предприятия целесообразно оценивать в целом по направлениям деятельности. В связи с этим различают эффективность производственно-хозяйственной, финансовой, инвестиционной деятельности [74].

Объектами оценки экономической эффективности на предприятии могут выступать отдельные производства, виды продукции, проекты и программы, мероприятия, имеющиеся и используемые ресурсы, затраты.

Оценочные показатели экономической эффективности должны выражать не только достигнутый результат деятельности предприятия, но и способ его достижения [74].

Принципами определения сущности эффективности на всех уровнях управления экономикой (хозяйствующего субъекта, отрасли, страны) и формирования системы показателей ее оценки являются [74]:

- соотношение конечного результата – дохода, объема выпуска или реализации продукции, валового внутреннего продукта, и эффекта – прибыли с примененными и использованными ресурсами (в целом или по отдельным видам);

- динамика исходных показателей, используемых в расчетах показателей экономической эффективности.

Система показателей должна удовлетворять трем основным требованиям:

- полный охват объекта исследования показателями системы;

- взаимосвязь этих показателей;

- верификация (возможность проверки).

Практическое применение сформированной системы показателей экономической эффективности предприятия предусматривает:

- ориентацию предприятий на интенсивный путь развития и достижение более высокого уровня эффективности в динамике;

- выявление резервов дальнейшего улучшения хозяйственной деятельности предприятия на основе внедрения достижений научно-технического прогресса, современных технологий, совершенствования организации труда, производства и управления предприятием;

- создание действенного механизма повышения эффективности [74].

Оценка эффективности производится на всех уровнях управления экономикой, поэтому в соответствии с местом получения эффекта можно выделить эффективность народно-хозяйственную и локальную [73].

Народно-хозяйственная эффективность характеризует эффективность всей национальной экономики (ВВП в расчете на душу населения).

Локальная эффективность означает конкретный результат производственно-хозяйственной или иной деятельности предприятия, в результате которого оно имеет определенный доход [73].

В условиях рыночных отношений основным критерием оценки эффективности деятельности любого предприятия является его рентабельность и прибыль. Любое предприятие ставит перед собой цель – получение прибыли, увеличение продаж и т.д. Суть деятельности предприятия сводится к рассмотрению итогов этой деятельности за конкретный период, для того чтобы оценить эффективность его работы [75].

Для достижения высокого уровня этих показателей необходимо глубокое экономическое исследование формирования финансовых результатов деятельности. Финансовый результат деятельности включает в себя результат всех операций, сгруппированных по определенным категориям расходов и доходов за отчетный период. Объектом проверки финансовых результатов является бухгалтерская прибыль (убыток), представляющая собой конечный финансовый результат [75].

Для оценки эффективности производства Н.И. Шелковников [76] предлагает использовать норматив эффекта. Под нормативом эффекта понимается размер эффекта, который может быть достигнут. При сравнении фактического и нормативного значения результативного показателя рассчитывается коэффициент эффективности. Посредством данного метода достигается сопоставимость значений числителя и знаменателя формулы эффективности.

Традиционные методы оценки эффективности производства, как известно, ориентированы, в первую очередь, на валовые показатели. При этом проблема формирования финансовых результатов остается второстепенной, а значит, в современных условиях требует решения. На современном этапе экономическое исследование финансовых результатов должно предоставить информацию о количественном и качественном влиянии на них не только экономико-организационных и технологических факторов. Нужно исследовать и внешние факторы, такие как: конъюнктура рынка, ценовая и налоговая политика, взаимоотношения с производителями сырья [75].

Выручка и прибыль – это не одно и то же. Прибыль формируется при исключении всех затрат на производство и налоги. Прибыль – самая объективная финансовая категория товарно-денежных отношений, которая включает широкий круг публичных взаимоотношений, сопряженных с

распределением, использованием и потреблением дополнительного продукта [75]. Прибыль, которую получает предприятие от производственно-хозяйственной деятельности, обладает следующими характеристиками:

– является главной целью предпринимательской деятельности;

– является критерием эффективности конкретной производственной (операционной) деятельности;

– основной внутренний источник формирования финансовых ресурсов предприятия, обеспечивающих его развитие [75];

– главный источник возрастания рыночной стоимости предприятия;

– важнейший источник удовлетворения социальных потребностей предприятия;

– основной защитный механизм от угрозы банкротства;

– характеризует степень деловой активности и финансового благополучия предприятия [75].

Рентабельность – это качественный, стоимостный показатель, характеризующий уровень отдачи вложенных затрат или уровень использования ресурсов, связанный с достижением определенного хозяйственного результата. Предприятие признается рентабельным, когда сумма выручки от всех видов деятельности за отчетный период покрывает не только расходы, но и ее достаточно для образования прибыли.

Таким образом, рентабельность характеризует результативность (эффективность) работы предприятия, дает представление о способности предприятия увеличивать свой вложенный капитал [75].

Для глубокого и более точного анализа эффективности деятельности предприятия необходимо рассчитать все представленные показатели. Такой анализ будет способствовать привлечению новых партнеров, инвесторов и поставщиков, которые будут полностью доверять предприятию, и стремиться стать его партнером.

Дать оценку эффективности результатовдеятельности организации помогает именно показатель рентабельности. Уровень рентабельности является одним из таких показателей. Он выражает отношение того или иного вида прибыли к какой-либо базе. Различные показатели отражают различные аспекты работы организации. В целом эффективность работы

организации определяется суммарной системой всех показателей рентабельности, включающей в себя пять групп показателей [77]:

- рентабельность продукции;
- рентабельность продаж;
- рентабельность активов;
- рентабельность собственного капитала;
- прочие показатели.

Актуальность рентабельности состоит в том, что она является одним из основополагающих критериев оценки эффективности работы компании, увеличение рентабельности характеризует цель компании любой отрасли в рыночной экономике; повышение рентабельности способствует росту финансовой устойчивости компании; для предпринимателей показатель рентабельности характеризует привлекательность бизнеса в данной сфере.

Рентабельность предприятия формируется под воздействием группы взаимосвязанных факторов, оказывающие разнородное влияние на результаты хозяйственной деятельности предприятия (как позитивно, так и негативно). Поэтому их классифицируют по различным критериям (по порядку формирования, источникам формирования, видам деятельности). Внешние и внутренние факторы, влияющие на величину финансовых результатов отчетного периода, представлены в таблице 3 [75].

Таблица 3 – Факторы, влияющие на величину финансовых результатов отчётного периода

Внешние факторы:	Внутренние факторы:
1. Факторы рыночной конъюнктуры (уровень конкурентоспособности продукции, изменение цен и тарифов, уровень инфляции и др.). 2. Административно-правовые (политика государства в области налогообложения, наличие субсидий государства и др.) [75].	1. Материально-технические (уровень интенсивного и экстенсивного использования производственных ресурсов). 2. Организационно-управленческие (совершенствование организации труда и производства). 3. Экономические (экономическое стимулирование, резервы роста прибыли и др.). 4. Социальные (улучшение условий труда) [75].

Влияние как внешних, так и внутренних факторов очень велико для любого предприятия, причём они тесно взаимосвязаны друг с другом.

Рассмотрев прибыльность и рентабельность, можно сделать вывод, что прибыль как итоговый финансовый результат деятельности предприятий представляет собой разницу между общей суммой доходов и затратами на производство и реализацию продукции с учетом убытков от различных хозяйственных операций отчетного периода. Однако прибыль не так полно характеризует итоговые результаты хозяйствования. Для этого необходимо использовать показатели рентабельности. Они в свою очередь позволяют дать более чёткое представление об эффективности деятельности предприятия, т.к. их величина отражает соотношение эффекта с вложенным капиталом или потребленными ресурсами. Можно смело говорить о том, что рентабельность является обобщающим показателем эффективной деятельности предприятия [75].

2 Экспериментальная часть

2.1 Объекты исследования

Объектами исследования являлись:

- корнеплоды дайкона сорта «Дракон», предоставленные учеными ВНИИ селекции и семеноводства овощных культур (г. Одинцово) (рисунок 4).

Рисунок 4 – Корнеплоды дайкона

2.2 Планирование экспериментов

Для выполнения поставленных задач было проведено несколько серий экспериментов, общая схема которых приведена на рисунке 5.

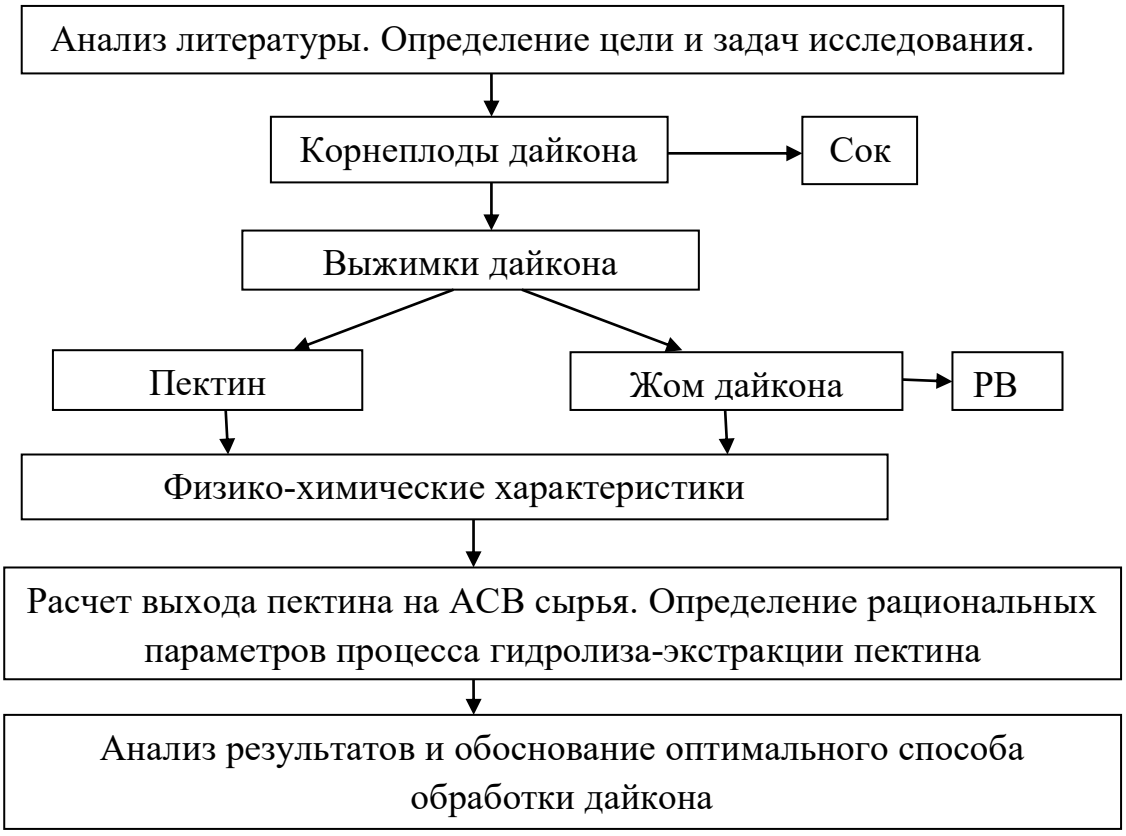


Рисунок 5 – Схема комплексной переработки корнеплодов дайкона

Процесс получения пектина из выжимок дайкона включает следующие стадии: предварительная обработка сырья; кислотный гидролиз; фильтрование; концентрирование; осаждение; центрифугирование; сушку (рисунок 6).

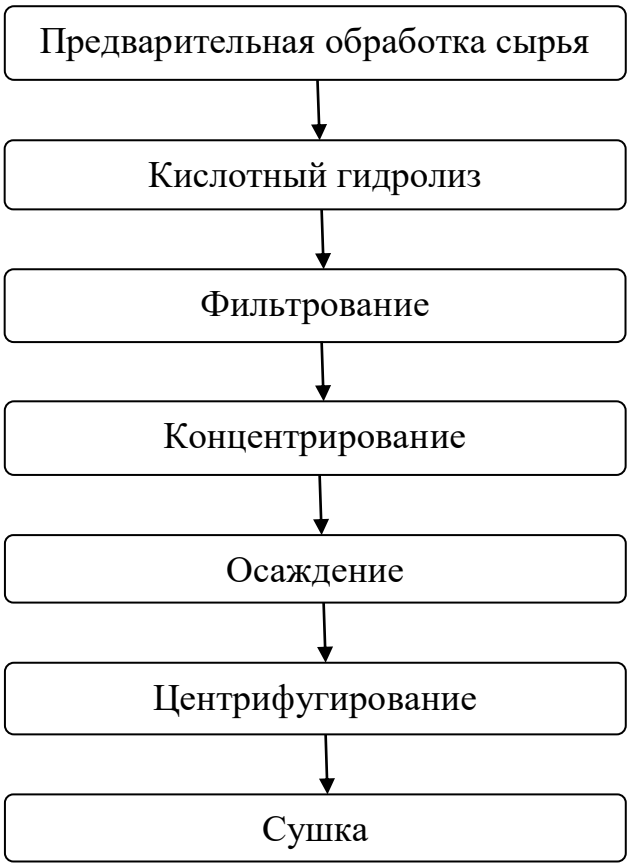


Рисунок 6– Принципиальная схема получения пектина

2.3 Характеристика используемого оборудования

Весы электронные лабораторные DL фирмы «A&DCo. LTD» (Япония)

Принцип действия весов (рисунок 7) основан на компенсации силы тяжести, возникающей под действием взвешиваемого груза, электромагнитный силой, создаваемой системой автоматического уравновешивания. Аналоговый электрический сигнал, изменяющийся пропорционально массе взвешиваемого груза, поступает в электронный блок, где он преобразуется в цифровой код, обрабатывается, и результат взвешивания отображается на дисплее. Технические характеристики электронных весов представлены на таблице 4.

Рисунок 7 – Весы электронные лабораторные DL фирмы «A&D Co. LTD»

Таблица 4 – Технические характеристики электронных весов

Наименование параметра	Значение
Наибольший предел взвешивания, г	320
Наименьший предел взвешивания, г	0,02
Дискретность отчета (d), г	0,001
Цена проверочного деления (e=10d), г	0,01
Число поверочных делений (n)	32000
Класс точности по ГОСТ 24104-2001	Высокий II

Мешалка магнитная MR 3001 (Германия)

Мешалка магнитная (рисунок 8) используется в лабораторных исследованиях для перемешивания, позволяет подогревать до температуры 300 ºС. В дипломной работе магнитную мешалку использовали на стадии гидролиза-экстракции выжимок дайкона для повышения эффективности экстракции (50 ºС, 250 об/мин). Технические характеристики мешалки представлены в таблице 5.

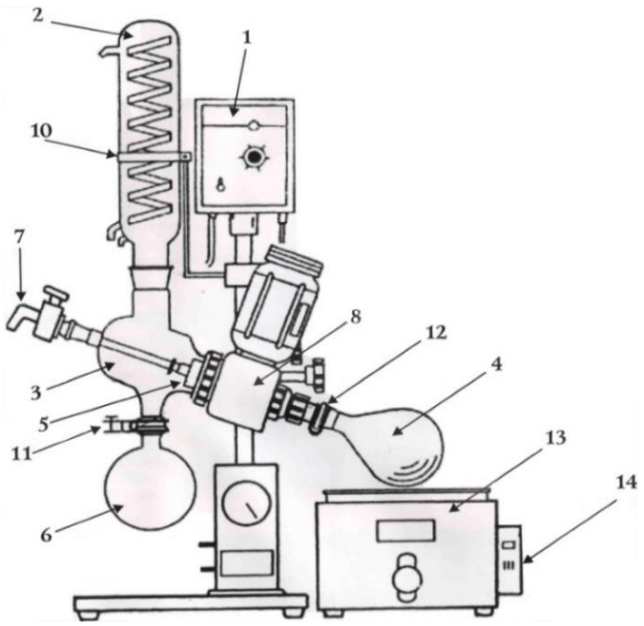
Рисунок 8 – Мешалка магнитная MR 3001

Таблица 5 – Технические характеристики мешалки магнитной MR 3001

Наименование характеристик	Значение
Привод мешалки	Емкостный мотор, электронное управление скоростью, защитное термоотключение
Диапазон скорости, об/мин	100-1250
Управление температурой	Капиллярная трубка
Мощность нагрева, Вт	600
Температурный диапазон, ºС	0-300
Материал изготовления поверхности плитки	Силумин (сплав алюминия)
Температурный сенсор	Капиллярная трубка
Напряжение питания, В / Гц / Гц	230 / 50 / 60
Потребляемая мощность, Вт	625
Масса, кг	3,0
Габариты (Ш х Г х В), мм	240 х 155 х 120
Окружающие условия, ºС	0-40
Химическая стабильность	Корпус: разъемный, покрытый полиамидом. Передняя панель – полиэстер

Испаритель ротационный ИР-1ЛТ (Россия)

Испаритель ротационный ИР-1ЛТ предназначен для проведения работ, связанных с быстрым удалением растворителей из растворов или суспензий органических и неорганических соединений путем пленочного испарения при нормальном или пониженном давлении и контролируемой температуре. Области применения ротационного испарителя ИР-1ЛТ: перегонка термически нестойких веществ в мягких температурных условиях, перегонка смесей высококипящих веществ, дегазация жидкостей, выпаривание жидкостей, перегонка легко вспенивающихся жидкостей. В дипломной работе ротационный испаритель использовали для концентрирования экстракта пектина. Конструкция испарителя представлена на рисунке 9.



1 - Блок управления испарителем; 2 - холодильник; 3 - сосуд 4-х ходовой; 4 - колба испарительная; 5 - фторопластовая втулка; 6 - колба приемная объемом 1000 мл; 7 - трубка для наполнения с вакуумным краном; 8 - привод с мотором (в сборе с фторопластовой втулкой с уплотнительной стеклянной трубкой); 9 - штатив (в сборе с вакуумным манометром, держателем привода, держателем блока управления); 10 - держатель холодильника; 11 - зажим для приемной колбы; 12 -зажим для испарительной колбы; 13 - баня с электронным блоком управления и подъемным механизмом; 14 - блок управления.

Рисунок 9 – Испаритель ротационный ИР-1ЛТ

Технические характеристики испарителя представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Технические характеристики испарителя ротационного ИР-1ЛТ

Наименование характеристики	Значение
Вместимость испарительной колбы, мл	500, 1000, 2000
Диапазон рабочего давления, кПа / мм.рт.ст.	0,96-101,3 / 7-760
Диапазон скорости вращения колбы, об/мин	5-180
Высота перемещения бани, см	10
Диапазон температуры нагрева бани, ºС	20-100
Точность поддержания температуры, ºС	0,1
Мощность мотора привода, Вт	40
Мощность потребления бани, Вт	1500
Питание, В / Гц	220 / 50

Лабораторный иономерИ-160 МИ (Россия)

Лабораторный иономер (рисунок 10) предназначен для прямого и косвенного потенциометрического измерения активности ионов водорода (pH), активности и концентрации других одновалентных и двухвалентных анионов и катионов (pX), окислительно-восстановительных потенциалов (Eh) и температуры в водных растворах с представлением результатов в цифровой форме и в виде аналогового сигнала напряжения постоянного тока. Технические характеристики лабораторного иономера представлены в таблице 7. На лабораторном иономере И-160 МИ определяли значение pH пектиновых экстрактов и концентратов.

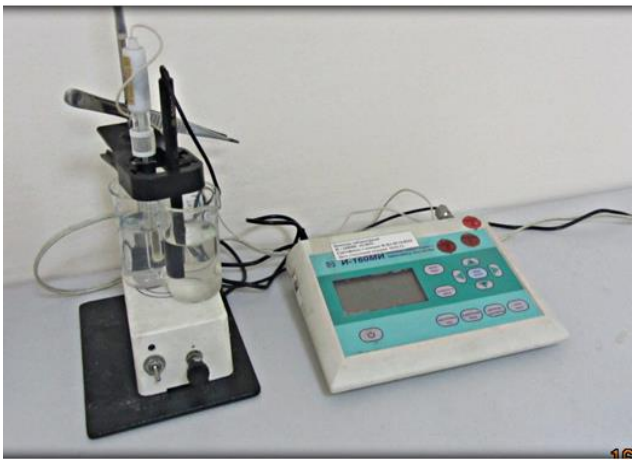


Рисунок 10 – Лабораторный иономер И-160 МИ

Таблица 7 – Технические характеристики лабораторного иономера И-160 МИ

Измеряемая величина	Единицы измерения	Диапазон измерений	Дискрет-ность	Погрешность преобразователя	Погрешность прибора
X	-	-20,000..20,000*	0,001	±0,014(Ion±1), ±0,028(Ion±2)	±0,05
H	-	-1,000..14,000*	0,001	±0,014	±0,03
h (ЭДС)	мВ	-3000,0..3000,0	0,1	±0,7	
X	г/л, г/кг, моль/л, моль/л экв.	10^{-6}..100*	автомати-чески	одновалентные ±2,5% двухвалентные ±5%	
T	°C	-20,0..150,0*	0,1	±0,5	±0,5

Центрифуга Sigma 4-15 (Германия)

Центрифугу (рисунок 11) использовали на стадии фильтрования экстрактов пектина и на стадии отделения осажденного пектина. Магнитная идентификация ротора предотвращает от превышения скорости.

Бесщеточный привод практически не требует обслуживания. Предварительная установка скорости до 15000 об/мин. Возможность работы центрифуги на низкой скорости от 100 об/мин. Контроль скорости, времени центрифугирования, температуры и ускорения. 20 кривых ускорения и торможения и 10 программируемых ячеек памяти. Технические характеристики центрифуги представлены в таблице 8.

Рисунок 11 - Центрифуга Sigma 4-15

Таблица 8 – Технические характеристики центрифуги Sigma 4-15

Наименование характеристики	Значение
Напряжение сети, В / Гц	230 / 50
Потребляемая мощность, Вт	1200
Максимальная вместимость, мл	4 x 500
Максимальная скорость, об/мин	13500
Минимальная скорость, об/мин	100
Подавление помех	EN 61326
Размеры (ВхШхГ), мм	405 x 490 x 685
Вес (без ротора), кг	82
Примерный уровень шума при максимальной скорости, dB	< 69
Максимальное ускорение, с (ротор 12130)	35
Максимальное ускорение, с (ротор 11140)	20
Максимальное торможение, с (ротор 12130)	38

Шкаф сушильный SNOL 58/350 (Россия)

Электропечь (рисунок 12) предназначена для термообработки или сушки в воздушной среде при температуре от 50 до 350 ºС. Электропечь, по ее назначению, используется в промышленности, учреждениях, больницах, промышленных и научных лабораториях и т.д. В дипломной работе

электропечь использовали для сушки пектина и определения влажности сырья и пектина.

Электропечь состоит из корпуса, камеры, двери, пульта управления. Корпус электропечи выполнен из листовой стали, сварной. В правой части корпуса установлена нагревательная камера из черной листовой стали, в которой размещены три съемных полок для загрузки садки. В левой стороне смонтирован пульт управления. К передней части прикреплены двери. Технические характеристики печи представлены в таблице 9.

Рисунок 12 – Электропечь SNOL 58/350

Таблица 9 – Технические характеристики электропечи низкотемпературной лабораторной SNOL 58/350

Наименование характеристик	Значение
Номинальная мощность, кВт	2,0
Напряжение питающей сети, В	220
Частота переменного тока, Гц	50
Номинальная температура в рабочем пространстве, ºС, не менее	350
Число фаз	1
Среда в рабочем пространстве	воздух
Время разогрева электропечи до номинальной температуры без садки, мин, не более	40
Диапазон автоматического регулирования температуры, ºС	50-350
Неравномерность температуры без садки, ºС, не более	± 2,5
Стабильность температуры в установившемся тепловом режиме, без садки, ºС, не хуже	± 1
Размеры рабочей камеры (Ш х Д х В), мм, не менее	390 х 380 х 360
Габаритные размеры (Ш х Д х В), мм, не более	675 х 675 х 600
Масса, кг, не более	40

Термостат вискозиметрический LOIPLT-910

Термостат вискозиметрический LOIPLT-910 (рисунок 13) предназначен для точного поддержания заданной температуры при определении вязкости растворов по ГОСТ 33-2000 в диапазоне температур от +20 до +150 ºС. В дипломной работе термостат использовали для определения кинематической вязкости пектиновых растворов и молекулярной массы пектинов. Технические характеристики термостата представлены в таблице 10.

Рисунок 13 – Термостат вискозиметрический LOIPLT-910

Таблица 10 – Технические характеристики термостата вискозиметрического LOIPLT-910

Наименование характеристики	Значение
Диапазон задаваемых температур, ºС	От +20до +150
Предел допускаемой погрешности установления заданной температуры в диапазоне от +10 до +100ºС, ºС	±0,02
Предел допускаемой погрешности установления заданной температуры за пределами диапазона от +10 до +100ºС, ºС	±0,04
Погрешность поддержания температуры в диапазоне от +10 до +100ºС, ºС	±0,01
Погрешность поддержания температуры за пределами диапазона от +10 до +100ºС, ºС	±0,03
Номинальное напряжение питания, В	220
Общая потребляемая мощность, Вт	1500
Количество мест под вискозиметры	3
Габаритные размеры, мм	380 х 235 х 560
Объем рабочей жидкости, л	14
Масса (без жидкости), кг	16
Срок службы аппарата, лет	7

Лабораторная мельница ЛМ 201 (Россия)

Лабораторная мельница ЛМ 201 (рисунок 14) предназначена для подготовки проб следующих продуктов:

- Зерновые культуры (для определения влажности).
- Продукты зернопереработки (макароны, и т.п).
- Семена масличных культур и комбикорма (для анализов на влажность, клетчатку, жир).
- Торф, почва, сухие травы и части растений.
- Химикаты, минералы, удобрения, угле- и стеклопластики.
- Фармацевтическое сырье и конечные продукты.
- Порошковые покрытия.
- Подготовка сухих костей для имплантантов.
- Вареные продукты: пельмени, котлеты, гуляш, гарниры, и т.п.

В дипломной работе лабораторную мельницу использовали для измельчения высушенного пектина.

Принцип действия:

В универсальной роторно-ножевой мельнице измельчение происходит за счет ударного действия быстро вращающегося ножа (17000 об/мин) с двумя заточенными кромками.

Размельчаемый материал подается в камеру и закрывается крышкой с поршнем. По мере измельчения поршень опускается к ножу, что дает возможность равномерно размалывать объемные и легкие продукты.

Высокоскоростной вращающийся нож обеспечивает высокую степень измельчения без нагревания продукта в процессе размола.

Технические характеристики лабораторной мельницы представлены в таблице 11.

Рисунок 14 – Лабораторная мельница ЛМ 201

Таблица 11 – Технические характеристики лабораторной мельницы ЛМ 201

Масса измельчаемого образца	10 – 150 г
Время измельчения образца	5-60 сек
Размер загружаемого материала	длиной до 4 см
Размер размолотого образца	500-10 мкм
Допускаемое количество размолов в час	60
Объем размольной камеры	Изменяемый: 85 – 400 мл
Скорость вращения ножа	17 000 об/мин
Мощность двигателя	700 Ватт
Электропитание	Однофазная сеть переменного тока напряжением 220 В, 50 Гц
Уровень шума, на расстоянии 1 м.	73-75 дБ (допустим по ГОСТ 12.1.003 для применения в помещениях лабораторий)
Габаритные размеры мельницы, мм (Высота х Длина х Ширина)	460 х 300 х 170
Масса	8 кг
Потребление воды	До 3 л/мин

2.4 Методы исследования

Элементный состав образцов определен на приборе Euro EA – Elemental Analyzer. Стандарт – стрептоцид ($C_6H_8O_2N_2S$). ИК спектры сняты в таблетках KBr на ИК-Фурье спектрофотометре Tensor-27 фирмы “Bruker” с разрешением 1 см$^{-1}$ в диапазоне 400-4000 см$^{-1}$.

2.4.1 Определение сухих веществ весовым методом

Метод основан на высушивании пробы при температуре (103±2) °С до постоянной массы и взвешивании пробы до и после высушивания [65].

Массовую долю сухих веществ в % вычисляют по формуле:

X = 100-W

$$W = \frac{m - m_1}{m - m_2} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где m – масса бюкса с навеской до высушивания, г;

m_1 – масса бюкса с навеской после высушивания, г;

m_2 – масса пустого бюкса, г.

2.4.2 Определение содержания золы

В предварительно доведенном до постоянного веса тигле взвешивают 1 г высушенного продукта. Затем сжигают в муфельной печи и взвешивают. Зольность вычисляется по формуле:

$П=(P_1/P)\times100\%$, (2)

где П – зольность, %;

P_1 – вес продукта после сжигания, г;

Р – вес продукта до сжигания, г [65].

2.4.3 Определение содержания сухих веществ по плотности в экстрактах ареометром по ГОСТ 8756.2-70

Метод основан на установлении содержания сухих веществ жидкостей по величине их относительной плотности.

Проведение испытания. В стеклянный цилиндр, диаметр которого должен быть в 2-3 раза больше диаметра утолщенной части ареометра, хорошо вымытый хромовой смесью и дистиллированной водой и высушенный или сполоснутый испытуемым раствором, осторожно, во избежание образования пены, наливают исследуемый раствор, доведенный до 20 ºС, при которой проводят определение плотности. Затем осторожно опускают в цилиндр чистый и сухой ареометр.

2.4.4 Определение степени этерификации пектина, содержания свободных и этерифицированных карбоксильных групп в пектине

Метод основан на титриметрическом определении свободных и, после омыления, этерифицированных карбоксильных групп полигалактуроновой кислоты в навеске пектина.

Пробу количественно переносят в коническую колбу, доводя общий ее объем примерно до 100 мл дистиллированной водой, нагретой до 40 ºС. Колбу плотно закрывают и тщательно взбалтывают содержимое до полного растворения пектина. Пробу титруют раствором гидроксида натрия в присутствии 6 капель смешанного индикатора до розового окрашивания, не исчезающего в течение 30 секунд. Учитывают объем израсходованного раствора гидроксида натрия (V_1).

Содержание свободных карбоксильных групп определяется по формуле:

$К_с = (a \cdot 0,45)/p$ (3)

где р – навеска пектина в граммах, а (V_1) – количество 0,1 н раствора NaOH, израсходованного на титрование, в мл. Одному мл раствора NaOH соответствует 0,0045 г карбоксильных групп.

Определение этерифицированных карбоксильных групп осуществляют согласно методике [65]. К пробе, которая использовалась в методе, приведенном выше, прибавляют 50 мл 0,1 н раствора NaOH. Колбу оставляют на два часа для омыления этерифицированных карбоксильных групп. После этого к раствору прибавляют 50 мл 0,1 н HCl и ее избыток оттитровывают 0,1 н раствором NaOH. Количество щелочи, израсходованное на титрование, соответствует количеству этерифицированных карбоксильных групп (V_2):

$К_э = (b \cdot 0,45)/р$ (4)

где b — количество 0,1 н NaOH, израсходованное на титрование в мл, а р — навеска пектина в граммах.

Степень этерификации (СЭ) в % вычисляют по формуле:

$СЭ=V_2/ (V_1+V_2)*100$, (5)

где V_1 - объем раствора гидроксида натрия 0.1н, используемого на первое титрование, мл;

V_2 - объем раствора гидроксида натрия 0.1н, используемого на второе титрование, мл.

2.4.5 Определение молекулярной массы пектинов

Определение молекулярного веса вискозиметрическим методом основано на использовании уравнения Гликмана и Орлова, которое связывает средневесовой молекулярный вес пектина и внутреннюю (характеристическую) вязкость пектина.

Уравнение Гликмана и Орлова выглядит следующим образом:

$[\eta] = 1,1 \cdot 10^{-5} \cdot M^{1,22}$, (6)

где [η] – внутренняя (характеристическая) вязкость;

М – средневесовой молекулярный вес пектина, Да.

По внутренней вязкости можно найти величину средневесового молекулярного веса. Для определения внутренней (характеристической) вязкости определяются значения удельной вязкости 10 растворов с убывающей концентрацией, приготовленных из исходного раствора пектина. Показатель отношения времени истечения исследуемого раствора и

растворителя характеризует относительную вязкость ($\eta_{отн}$) пектинового экстракта дайкона при данной концентрации.

Из относительной вязкости вычисляют удельную вязкость:

$\eta_{отн} = t_o / t_1$; (7)

$\eta_{уд} = \eta_{отн} - 1$,(8)

где $\eta_{отн}$ – относительная вязкость раствора;

$\eta_{уд}$ – удельная вязкость раствора;

t_0 – время истечения объема исследуемого раствора, с;

t_1 – время истечения объема растворителя, с.

На основе полученных данных вычисляли приведенную вязкость (отношение удельной вязкости к содержанию пектина в 100 мл раствора).

Внутренняя (характеристическая) вязкость определяется графически. На оси ординат откладываются значения $\eta_{уд}$ / С, а на оси абсцисс - концентрация пектина в г в 100 мл раствора. Прямая зависимость $\eta_{уд}$ / С от концентрации на пересечении с осью ординат дают величину внутренней вязкости. Определив величину [η] путем логарифмирования, находят величину средневесового молекулярного веса [65].

2.4.6 Определение кинематической вязкости пектиновых экстрактов вискозиметрическим методом

Вязкость (внутреннее трение) – свойство текучих тел оказывать сопротивление перемещению одной их части относительно другой.

Для измерения вязкости используют вискозиметр Оствальда с определенным диаметром капилляра. Подготовленный к работе вискозиметр, содержащий определенный объем раствора пектина помещают в термостат с температурой 20 ºС на 30 мин. Затем всасыванием резиновой грушей заполняют капилляр и верхний шарик вискозиметра доводят до соответствующей метки. С помощью секундомера определяют время истечения определенного раствора, содержащегося в верхнем шарике и заключенного между двумя метками. Подобные измерения проводят 2-3 раза [78].

Кинематическая вязкость жидкости определяется по формуле:

$$v = \frac{g}{9{,}807} \cdot T \cdot K (9)$$

2.4.7 Определение концентрации пектина в экстракте и уронидной составляющей пектина Са-пектатным методом

К 10 мл пробы (экстракт, 0,5% раствор пектина) добавляют 100 мл 0.1н раствора NaOH и оставляют на ночь при комнатной температуре. На следующий день раствор подкисляют 50 мл уксусной кислоты. Пектиновую кислоту из раствора осаждают 50 мл 2 н раствора $CaCI_2$ при комнатной температуре. Полученный осадок пектата кальция отфильтровают через заранее высушенный до постоянного веса фильтр. Затем осадок на фильтре промывают горячей водой для освобождения от Cl^- иона, несколько раз промывают горячей водой для удаления солей. Фильтр с осадком переносят пинцетом в бюкс и сушат до постоянного веса при температуре 100-105 °С. Высушенный до постоянного веса фильтр с осадком взвешивают [79]. Концентрация пектина в экстракте определяется по формуле:

$$x = (m_2 - m_1) \cdot 0{,}92 \cdot V \cdot 100 / m \cdot V_1 \quad (10)$$

где m_2 – масса бюкса с высушенным фильтром и осадком пектатаСа, г;

m_1 – масса бюкса с высушенным фильтром, г;

0,92 – коэффициент пересчета на пектин к объему;

V – объем, до которого разбавлена навеска, мл;

m – навеска экстракта, г;

V_1 – объем раствора, взятый для определения, мл;

x – содержание пектина в растворе, %.

2.4.8 Определение комплексообразующей способности пектина

Около 0,5 г (точная навеска) пектина растворяют в 100 мл дистиллированной воды. Раствор количественно переносят в мерную колбу объемом 250 мл, добавляют 50 мл 0,035 н раствора гидроксоацетата Pb (II), объем в колбе доводят до метки, перемешивают и оставляют на 1 ч при комнатной температуре для установления равновесия между раствором и осадком. Затем часть содержимого мерной колбы отфильтровывают через бумажный фильтр, исключая первые порции фильтрата. Аликвотную часть фильтрата (20 мл) помещают в колбу для титрования, приливают 20 мл 0,05 н раствора комплексона III, 1,5 мл аммиачно-буферного раствора и немного индикатора – эриохромчерного Т. Далее титруют 0,05 н раствором $ZnSO_4$ до перехода окраски индикатора от синей к фиолетовой. Контрольный опыт

проводят аналогично, но без добавления пектина. Массу свинца ($m_{Pb^{2+}}$) в рабочем ($m^{р}_{Pb^{2+}}$) и контрольном опытах ($m^{к}_{Pb^{2+}}$) определяют по формуле:

$m_{Pb^{2+}} = (N_2V_2 – N_1V_1)\cdot 1295$, (11)

где $m_{Pb^{2+}}$ - масса свинца, мг;

N_1, V_1 - нормальность и объем (мл) стандартного раствора $ZnSO_4$, израсходованного на титрование избытка комплексона III;

N_2, V_2 - нормальность и объем (мл) стандартного раствора комплексона III, добавленного к аликвотной части свинецсодержащего раствора;

1295 - коэффициент, учитывающий молярную массу эквивалента Pb (II) и разведение.

$КС = (m^{к}_{Pb^{2+}} - m^{р}_{Pb^{2+}}) / a$, (12)

где КС – комплексообразующая способность пектина, мг Pb^{2+}/г;

$m^{к}_{Pb^{2+}}$ - масса свинца в контрольном опыте, мг;

$m^{р}_{Pb^{2+}}$ - масса свинца в рабочем опыте, мг;

а - навеска пектина, взятая для анализа, г [65].

2.4.9 Определение студнеобразующей способности пектина

К 2 г пектина прибавляют 100 мл дистиллированной воды, тщательно перемешивают и растирают стеклянной палочкой, затем выдерживают при комнатной температуре в течение 12-14 часов. Раствор пектина количественно переносят из стеклянных стаканчиков в фарфоровую чашку (на 250 мл) с известным весом. В чашку с вязким раствором пектина прибавляют 65 г сахара и хорошо перемешивают, затем помещают над электрической плиткой на уровне 4 – 5 см от ее поверхности и упаривают содержимое при перемешивании до 98 г. С помощью деревянного держателя чашку периодически взвешивают на технических весах до установления необходимого веса. Потом к содержимому прибавляют 2 мл 0,4% раствора винной кислоты. В процессе наполнения необходимо сироп в чашке интенсивно перемешивать с целью распределения налитой кислоты по всему объему сиропа. Стаканы с сиропом оставляют на 18-24 часа при комнатной температуре для образования студня [65].

2.4.10 Количественное определение сахаров в гидролизатах

Реакция (рассмотрена на примере глюкозы):

$C_6H_{12}O_6 + I_2 + 2NaOH \rightarrow 2NaI + C_6H_{14}O_8$

$2NaI + H_2SO_4 \rightarrow I_2 + Na_2SO_4$

$I_2 + 2Na_2S_2O_3 \rightarrow 2NaI + Na_2S_4O_6$

5 мл исследуемого экстракта помещают в коническую колбу объемом 200 мл с притертой пробкой. К экстракту приливают 25 мл 0.1 н водного раствора йода, 10 мл 1%-го раствора едкого натра. При этом раствор должен иметь желтовато-коричневый оттенок. В случае отсутствия окрашивания к раствору добавляют 1 мл 9%-го раствора едкого натра и оставляют на 10-15 минут в темном месте. Затем приливают 5 мл разведенной серной кислоты (1:5) и избыток свободного йода оттитровывают 0.1 н. раствором тиосульфата натрия (индикатор – крахмал) до обесцвечивания раствора [80].

Параллельно в тех же условиях проводят контрольный опыт с 5 мл дистиллированной воды по вышеприведенной схеме.

Концентрация РВ в ферментолизатах, полученных в данных экспериментах, рассчитывается по следующей формуле:

$$X = \frac{(V_{конт} - V_{обр}) \cdot T}{a} \cdot 100\%, \quad (13)$$

где $V_{конт}$ - объем 0.1 н. раствора тиосульфата натрия, пошедшего на титрование в холостом опыте, мл;

$V_{обр}$ - объем 0.1 н. раствора тиосульфата натрия, пошедшего на титрование образца, мл;

Т - титр глюкозы – 0.009901 г/мл;

а - объем исследуемого раствора, мл [81].

2.4.11 Определение белка методом Лоури

Для определения белков по методу Лоури необходимо приготовить следующие реактивы. Реактив Фолина: 100 г вольфрамата натрия ($Na_2WO_4 \cdot 2H_2O$) и 25 г молибдата натрия ($Na_2MoO_4 \cdot 2H_2O$) растворяют в 800 см^3 дистиллированной воды. К раствору добавляют 50 см^3 80%-ной фосфорной кислоты (H_3PO_4) и 100 см^3 концентрированной соляной кислоты. Смесь кипятят с обратным холодильником на сетке в течение 10 часов. После кипячения к смеси добавляют 150 г сернокислого лития, 50 см^3 воды и несколько капель бромной воды. Затем кипятят 15 минут без обратного холодильника для удаления избытка брома. После охлаждения раствор доводят до 1 дм^3, фильтруют и хранят в темной склянке. Перед употреблением реактив разбавляют дистиллированной водой (1:1).

Кроме реактива Фолина, готовят следующие растворы: А – 2% - ный раствор Na_2CO_3 в 0,1 н NaOH; В – 0,5% - ный раствор $CuSO_4 \cdot 5H_2O$ в 1% - ном растворе $KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$ и С – смесь из реактивов А и В (50:1), которую готовят перед анализами.

Определение содержания белка в промывных водах проводят следующим образом: берут по 0,4 $см^3$ экстракта и туда же добавляют 2 $см^3$ реактива С. Содержимое пробирки перемешивают и оставляют при комнатной температуре на 10 минут. Затем в пробирку добавляют 0,2 $см^3$ реактива Фолина. Через 30 минут желтая окраска жидкости переходит в синюю, и интенсивность окраски определяют на фотоэлектроколориметре при красном светофильтре.

На оси абсцисс отмечают абсолютное количество белка, выраженное в микрограммах на 1 $см^3$, в пробах, взятых для построения калибровочной прямой, а на оси ординат – их оптическую плотность при колориметровании на фотоэлектроколориметре.

2.5 Характеристика используемых реактивов, материалов и посуды

Химические вещества используются на двух стадиях – гидролиз-экстракция и осаждение пектина. Гидролиз-экстракцию пектина из дайкона проводили 0,5% раствором янтарной и щавелевой кислоты. Осаждение пектина осуществляли 80% этиловым спиртом.

Для выделения редуцирующих веществ использовали фермент Целлолюкс-А.

Янтарная кислота – это продукт, получаемый в результате переработки янтаря природного происхождения. Выпуск этой кислоты производится в форме таблеток или кристаллов порошка, которые с легкостью растворяются в спирте, воде или эфире. Янтарная кислота обладает целым рядом полезных свойств, позволяющих стимулировать рост растений и обеспечить питание для комнатных цветов.

Янтарная кислота – это природный компонент, обеспечивающий здоровую жизнедеятельность растений и организмов. Ее уникальный состав позволяет значительно улучшить процессы их роста и развития.

В пищевой промышленности используется в качестве пищевой добавки Е363.

В лекарственных препаратах янтарная кислота применяется в качестве активного вещества как метаболическое средство, улучшающее метаболизм и энергообеспечение тканей, уменьшающее гипоксию тканей [82].

Щавелевая кислота (этандиовая кислота) – органическое соединение, двухосновная предельная карбоновая кислота, с формулой HOOC-COOH, простейшая двухосновная кислота, первый член гомологического ряда двухосновных предельных карбоновых кислот, принадлежит к сильным органическим кислотам. Обладает всеми химическими свойствами, характерными для карбоновых кислот. Соли и сложные эфиры щавелевой кислоты называются оксалатами.

В природе содержится в щавеле, ревене, карамболе и некоторых других растениях в свободном виде и в виде оксалатов калия и кальция. Щавелевая кислота является хорошим стимулятором работы мышц и нервов. Температура декарбоксилирования 166 -180 °С.

Этанол (этиловый спирт) – одноатомный спирт с формулой C_2H_5OH, второй представитель гомологического ряда одноатомных спиртов. Внешний вид: в обычных условиях представляет собой бесцветную летучую жидкость с характерным запахом и жгучим вкусом. Этиловый спирт легче воды. Является хорошим растворителем других органических веществ.

Этиловый спирт – действующий компонент алкогольных напитков, также используется как топливо, в качестве растворителя, как наполнитель в спиртовых термометрах и как дезинфицирующее средство (или как компонент его) [49].

Целлолюкс-А: комплексный ферментный препарат, продуцируемый микробной культурой *Trichodermaviride (reesei*).

Фермент Целлолюкс-А (рисунок 15) применяют в пищевой промышленности при производстве пива, этилового спирта, концентрата квасного сусла [83].

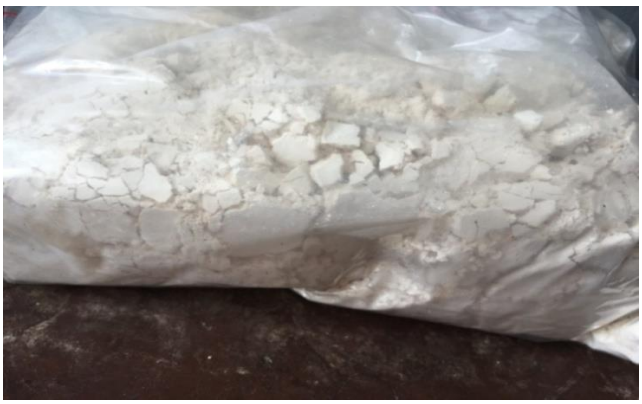


Рисунок 15 – Фермент Целлолюкс-А

Целлолюкс-А осуществляет эффективное разрушение некрахмалистых полисахаридов зерна в процессе производства спирта, оказывает существенное влияние на реологические свойства сусла, позволяет повысить доступность крахмала к действию амилаз, увеличивает выход спирта.

В соответствии с паспортом «Целлолюкс-А» содержит в своем составе комплекс ферментов целлюлазно-глюконазно-ксиланазного действия.

Целлолюкс-А используется для интенсификации гидролиза некрахмалистых полисахаридов зерна:

- на стадии солодоращения для облегчения доступа ферментов, образующихся в ячменном зерне при проращивании, к эндосперму ячменного зерна;

- на стадии затирания для облегчения доступа ферментов солода и ферментных препаратов микробного происхождения к экстрактивным веществам солода и несоложеных материалов.

Основные характеристики:

Целлолюкс-А состоит из комплекса ферментов: бета-глюканазы - до 3500 ед/мл, ксиланазы - до 3500 ед/мл, целлюлазы - до 1200 ед/мл, альфа-амилазы - до 400 ед/мл. Выпускается в форме жидкости. Комплекс ферментов осуществляет эффективный гидролиз целлюлозы, ксиланов, глюканов зерна. В результате повышается доступность крахмала зерна к действию амилолитических ферментов [83].

Оптимальные условия: pH 4,0-6,0; температура 50-60 ^{o}C.

В работе использовались следующая посуда и материалы:

- круглые плоскодонные колбы на 2000, 1000, 500 мл;
- конические плоскодонные колбы на 100 и 250 мл;

- воронки различного размера;
- мерные цилиндры на 100 и 2000 мл;
- стаканчики на 100 мл;
- пипетки на 10 мл;
- лавсановая ткань;
- бумажные фильтры.

2.6 Проведение экспериментальных исследований

2.6.1 Отделение сока и предварительная подготовка сырья для выделения пектиновых полисахаридов

Первоначально корнеплоды дайкона были промыты водопроводной водой. Отделение сока из них проводилось на соковыжималке KENWOOD JE 850 (мощность 1200 Вт). В таблице 12 приведены данные по выходу сока из корнеплодов дайкона.

Таблица 12 – Выход сока из дайкона

Масса сырья, г	Объем сока, мл	Масса выжимок дайкона	
		г	%
960	300	660	68,75

После отделения сока выжимки дайкона при необходимости измельчают, далее сырье хранят в замороженном виде при температуре -18 ºС.

Эксперимент 1

В колбу вносят 200 г выжимок дайкона, заливают 1,4 л 0,5% раствором янтарной кислоты. Далее проводят экстракцию при температуре 60 ºС в течение 7 ч при постоянном перемешивании и гидромодуле 1:7. Отбирают пробы через 1, 3, 5 и 7 ч. По окончании реакции гидролизат отфильтровывают через лавсановую ткань. Затем экстракт концентрируют на испарителе ротационном ИР-1ЛТ, добавлением двойного объема этанола осаждают пектин. Коагулированный пектин отделяют от водного этанола центрифугированием (4000 об/мин, 30 минут) и сушат при температуре 55 ºС. Масса высушенного пектина: 0,507 г.

Выход пектина на АСВ сырья составляет 2,33%.

Эксперимент 2

В колбу помещают 200 г измельченных выжимок дайкона и заливают 1,4 л 0,5% раствора щавелевой кислоты. Гидролиз проводят в течение 7 часов при температуре 60 ºС на магнитной мешалке при постоянном перемешивании. Через определенные промежутки времени (1, 3, 5, 7 часов) отбирают пробы. По окончании реакции гидролизат отфильтровывают через лавсановую ткань, далее все стадии выполняют аналогично эксперименту 1. Масса высушенного пектина составляет 1,733 г.

Выход пектина на АСВ сырья составляет 7,91%.

2.6.2 Предварительная подготовка обеспектиненного жома дайкона в качестве сырья для ферментативного гидролиза

Обеспектиненные жомы дайкона, после гидролиза-экстракции с янтарной и щавелевой кислотой измельчают на лабораторной мельнице и просеивают через сито (рисунок 16) диаметром отверстий 1 мм.

Рисунок 16 – Сито

Эксперимент 3

В качестве сырья был использован обеспектиненный жом дайкона после гидролиза-экстракции с янтарной кислотой (фр.≤1мм). В стакан насыпают 5 г сырья, потом наливают 190 мл дистиллированной воды (гидромодуль 1:38) и добавляют по 0,5 г фермента Целлолюкс-А. Для равномерного растворения фермента стакан ставят на магнитную мешалку на 10 минут, после чего образец ставят в термостат при 50 ºС. Через определенные промежутки времени – 1, 3, 5, 8, 24, 33 часа отбирают пробы, после проведения гидролиза для дезактивации ферментов образцы термостатируют при 100 ºС в течение 15 мин. Отбор проб осуществляют

периодически для определения концентрации редуцирующих веществ (РВ) в пересчете на глюкозу йодометрическим методом.

Эксперимент 4

В качестве сырья был использован обеспектиненный жом дайкона, после гидролиза-экстракции с щавелевой кислотой (фр.≤1мм). В стакан насыпают 5 г сырья, промывают 190 мл дистиллированной воды, сливают и далее с учетом набухаемости сырья наливают 170 мл дистиллированной воды (гидромодуль 1:38) и добавляют по 0,5 г фермента Целлолюкс-А. Для равномерного растворения фермента стакан ставят на магнитную мешалку на 10 минут, после чего образец ставят в термостат при 50 ºС. Через 1, 3, 5, 8, 24, 33 часа отбирают пробы, для дезактивации ферментов образцы термостатируют при 100 ºС в течение 15 мин.

Аналогично эксперименту 3 отбор проб осуществляют периодически для определения концентрации редуцирующих веществ (РВ) в пересчете на глюкозу йодометрическим методом.

2.7 Результаты экспериментальных исследований

1. Влажность определяется по формуле (1):

Определение влажности сырья – выжимок корнеплодов дайкона

$$W_1 = \frac{112{,}329-103{,}091}{112{,}329-102{,}311} \cdot 100 = 92{,}214\%$$

$$W_1 = \frac{55{,}209-49{,}793}{55{,}209-49{,}059} \cdot 100 = 88{,}065\%$$

Определение влажности пектина

$$W_1 = \frac{9{,}827-9{,}811}{9{,}827-9{,}668} \cdot 100 = 10\%$$

2. Зольность сырья вычисляется по формуле (2):

$$\text{П} = \frac{0{,}0175}{0{,}2145} \times 100\% = 8{,}16\%$$

3. Содержание свободных карбоксильных групп выделенных из выжимок дайкона пектинов определяется по формуле (3):

$$\text{К}_\text{с} = \frac{0{,}2 \cdot 0{,}45}{0{,}037} = 2{,}4\% \text{ (д. я.к.)}$$

$К_с = \frac{2,6 \cdot 0,45}{0,1} = 11,7\%$ (д. щ.к.)

4. Количество этерифицированных карбоксильных групп (V_2) вычисляют по формуле (4):

$K_э = \frac{1,4 \cdot 0,45}{0,037} = 17,0\%$ (д. я.к.)

$K_э = \frac{3,2 \cdot 0,45}{0,1} = 14,4\%$ (д. щ.к.)

5. Степень этерификации пектинов (СЭ) в % вычисляют по формуле (5):

$СЭ = \frac{1,4}{0,2+1,4} \times 100 = 87,5\%$ (д. я.к.)

$СЭ = \frac{3,2}{2,6+3,2} \times 100 = 55,17\%$ (д. щ.к.)

6. Молекулярная масса пектинов определяется по уравнению Гликмана и Орлова:

$[\eta] = 1,1 \cdot 10^{-5} \cdot M^{1,22}$,

где [η] – внутренняя (характеристическая) вязкость;

М – средневесовой молекулярный вес пектина, Да.

1) Молекулярная масса пектина, полученного обработкой выжимок дайкона янтарной кислотой

ММ = 3989,9 Да

2) Молекулярная масса пектина, полученного обработкой выжимок дайкона щавелевой кислотой

ММ = 9995,7 Да

7. Кинематическая вязкость пектиновых экстрактов определяется по формуле (9):

Кинематическая вязкость экстрактов, полученных обработкой дайкона 0,5% раствором янтарной кислоты, мм^2/с.

1ч $\quad v = \frac{9,8}{9,807} \cdot 0,009820 \cdot 104,29 = 1,023$

3ч $\quad v = \frac{9,8}{9,807} \cdot 0,009820 \cdot 104,75 = 1,028$

5ч $v = \frac{9,8}{9,807} \cdot 0,009820 \cdot 104,84 = 1,029$

7ч $v = \frac{9,8}{9,807} \cdot 0,009820 \cdot 105,6 = 1,036$

Кинематическая вязкость экстрактов, полученных обработкой дайкона 0,5% раствором щавелевой кислоты, мм^2/с.

1ч $v = \frac{9,8}{9,807} \cdot 0,009820 \cdot 111,5 = 1,094$

3ч $v = \frac{9,8}{9,807} \cdot 0,009820 \cdot 126,5 = 1,241$

5ч $v = \frac{9,8}{9,807} \cdot 0,009820 \cdot 129,5 = 1,271$

7ч $v = \frac{9,8}{9,807} \cdot 0,009820 \cdot 136,5 = 1,339$

8. Уронидная составляющая пектина определяется по формуле (10):

x = 65% (д. я.к.)

x = 67% (д. щ.к.)

9. Комплексообразующая способность пектина определяется по формулам (11, 12):

$m^к_{Pb^{2+}}$= (0,05·20 – 0,05·8,7)·1295 = 731,675 мг

$m^р_{Pb^{2+}}$= (0,05·20 – 0,05·8,8)·1295 = 725,200 мг

КС = (731,675-725,200)/0,5 = 12,95 мг Pb^{2+}/г (я.к.)

КС = 58,46мг Pb^{2+}/г (щ.к.)

10. Количественное определение сахаров в гидролизатах

Концентрация РВ в ферментолизате (1 ч), полученном ферментативным гидролизом жома дайкона после кислотного гидролиза с янтарной кислотой (жом 1) с использованием ферментного препарата Целлолюкс-А, определялась по формуле (13). Далее рассчитывали содержание РВ на весь объем ферментолизата.

Общий объем ферментолизата: 190-5·6=160 мл

В 100 мл гидролизата – 0,386 г РВ

Весь объем 160 мл – Х г

Х=0,6176 г

Исходное сырье 5 г – 100%

0,6176 г – X%

X=12,35%

Аналогично проведен рассчет содержания РВ на весь объем ферментолизата для всех образцов.

Концентрация РВ в ферментолизате (1 ч), полученном ферментативным гидролизом жома дайкона после кислотного гидролиза с щавелевой кислотой (жом 2) с использованием ферментного препарата Целлолюкс-А.

В 100 мл гидролизата – 0,168 г РВ

Весь объем 160 мл– X г

X=0,2688 г

Исходное сырье 5 г – 100%

0,2688 г – X%

X=5,38%

Концентрация РВ в ферментолизате (3 ч), полученном ферментативным гидролизом с использованием ферментного препарата Целлолюкс-А жома 1.

В 100 мл гидролизата – 0,683 г РВ

Весь объем 160 – X г

X=1,0928 г

Исходное сырье 5 г – 100%

1,0928 г – X%

X=21,86%

Концентрация РВ в ферментолизате (3 ч), полученном ферментативным гидролизом с использованием ферментного препарата Целлолюкс-А жома 2.

В 100 мл гидролизата – 0,337 г РВ

Весь объем 160 – X г

X=0,5392 г

Исходное сырье 5 г – 100%

0,5392 г – X%

X=10,78%

Концентрация РВ в ферментолизате (5 ч), полученном ферментативным гидролизом с использованием ферментного препарата Целлолюкс-А жома 1.

В 100 мл гидролизата – 0, 832 г РВ

Весь объем 160 – Х г

Х=1,3312 г

Исходное сырье 5 г – 100%

1,3312 г – Х%

Х=26,62%

Концентрация РВ в ферментолизате (5 ч), полученном ферментативным гидролизом с использованием ферментного препарата Целлолюкс-А жома 2.

В 100 мл гидролизата – 0,396 г РВ

Весь объем 160 – Х г

Х=0,6336 г

Исходное сырье 5 г – 100%

0,6336 г – Х%

Х=12,67%

Концентрация РВ в ферментолизате (8 ч), полученном ферментативным гидролизом с использованием ферментного препарата Целлолюкс-А жома 1.

В 100 мл гидролизата – 0, 9406 г РВ

Весь объем 160 – Х г

Х=1,505 г

Исходное сырье 5 г – 100%

1,505 г – Х%

Х=30,1%

Концентрация РВ в ферментолизате (8 ч), полученном ферментативным гидролизом с использованием ферментного препарата Целлолюкс-А жома 2.

В 100 мл гидролизата – 0,426 г РВ

Весь объем 160 – Х г

X=0,6816 г

Исходное сырье 5 г – 100%

0,6816 г – X%

X=13,63%

Концентрация РВ в ферментолизате (24 ч), полученном ферментативным гидролизом с использованием ферментного препарата Целлолюкс-А жома 1.

В 100 мл гидролизата – 1, 000 г РВ

Весь объем 160 – X г

X=1,6 г

Исходное сырье 5 г – 100%

1,6 г – X%

X=32%

Концентрация РВ в ферментолизате (24 ч), полученном ферментативным гидролизом с использованием ферментного препарата Целлолюкс-А жома 2.

В 100 мл гидролизата – 0,465 г РВ

Весь объем 160 – X г

X=0,744 г

Исходное сырье 5 г – 100%

0,744 г – X%

X=14,88%

Концентрация РВ в конечном ферментолизате (33 ч), полученном ферментативным гидролизом с использованием ферментного препарата Целлолюкс-А жома 1.

В 100 мл гидролизата – 1,0594 г РВ

Весь объем 160 – X г

X=1,7 г

Исходное сырье 5 г – 100%

1,7 г – X%

X=34%

Концентрация РВ в конечном ферментолизате (33 ч), полученном ферментативным гидролизом с использованием ферментного препарата Целлолюкс-А жома 2.

В 100 мл гидролизата – 0,505 г РВ

Весь объем 160 – Х г

Х=0,81 г

Исходное сырье 5 г – 100%

0,81 г – Х%

Х=16,2%

3 Результаты исследований и их обсуждение

В рамках дипломной работы были проведены исследования по комплексной переработке корнеплодов дайкона и получены следующие продукты: сок дайкона, пектин, обеспектиненный жом дайкона и редуцирующие вещества. Перспективность использования корнеплодов дайкона сорта «Дракон» в качестве сырья для получения пектинов обусловлен высокой урожайностью, составом корнеплодов и характеристиками выделенных пектинов.

3.1 Предварительная обработка сырья

После отделения сока из корнеплодов дайкона сорта «Дракон» остаются выжимки, которые были использованы как сырье для получения пектиновых полисахаридов (рисунок 5). Нами был определен элементный состав (таблица 13) и зольность сырья. Зольность сырья составила 8,16%, что указывает на высокое содержание минеральных элементов. В дайконе содержится много необходимых для организма человека микро- и макроэлементов, определенных атомно-эмиссионным методом, – это калий, кальций, железо, фосфор, кремний и др. Сок дайкона богат сахарами (66,32%), особенно фруктозой, что согласуется с литературными данными и позволяет использовать его при лечении и профилактике диабета [81].

Таблица 13 – Элементный анализ сырья

Образец сырья	C, %	H, %	N, %	Белок, %
Образец 1	40.35-40.33	5.93-5.89	1.45-1,50	9,06-9,38

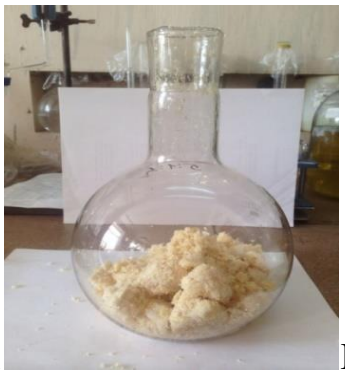
А

Б

Рисунок 17 – Подготовка сырья для гидролиза-экстракции пектина: корнеплоды дайкона (А), выжимки дайкона (Б)

3.2 Кислотныйгидролиз

Обработку дайкона проводили 0,5% растворами янтарной и щавелевой кислот в течение 7 часов при 60 ºС (гидромодуль 1:7). Для оценки вклада временного фактора предусматривался отбор проб из реакционной массы с последующим определением сухого вещества весовым методом через определенные промежутки времени (1, 3, 5 и 7 ч), результаты представлены на рисунке 18 и в таблице 14.

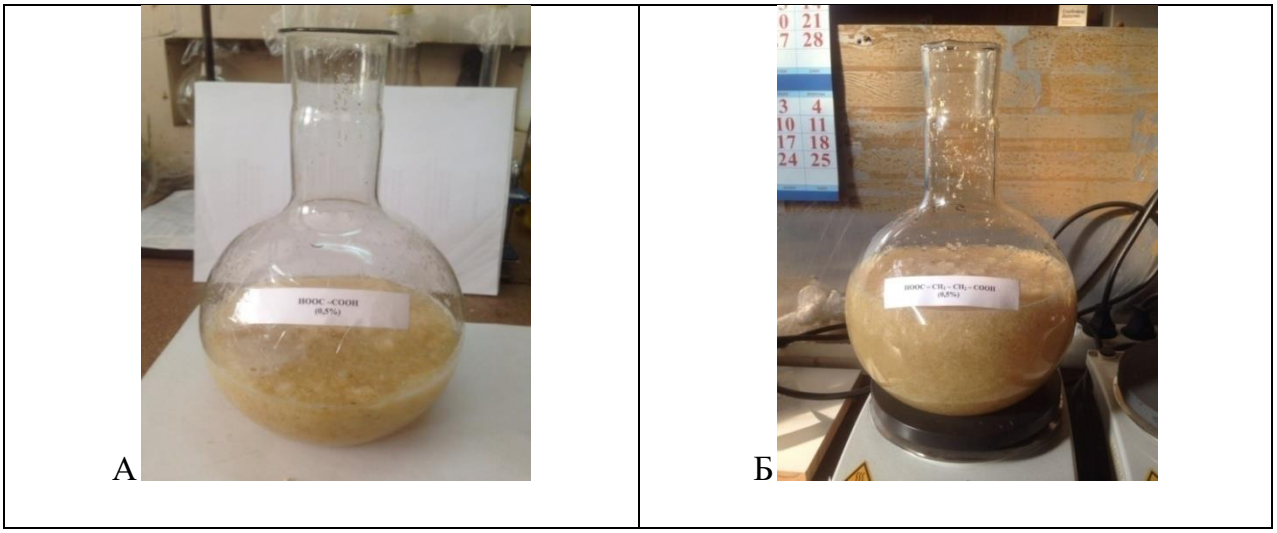


Рисунок 18 – Гидролиз-экстракция пектина из выжимок дайкона 0,5% растворами щавелевой (А) и янтарной (Б) кислоты

Значения pH экстрактов замеряли на иономере И-160МИ. Характеристики экстрактов представлены в таблице 14.

Таблица 14 – Условия процесса гидролиза - экстракции выжимок дайкона 0,5% раствором янтарной и щавелевой кислоты и характеристики экстрактов

Образцы, час	Характеристики экстракта			
	V(объем), мл	T,ºC	pH экстракта	Концентрация сухих веществ, %
	0,5% раствор янтарной кислоты			
1.0	1290	60	4,063	0,798
3.0	1290	60	4,021	0,858
5.0	1290	60	4,060	0,870
7.0	1290	60	4,017	0,888
	0,5% раствор щавелевой кислоты			
1.0	1260	60	2,143	0,895

3.0	1260	60	2,133	0,943
5.0	1260	60	2,144	0,933
7.0	1260	60	2,140	0,943

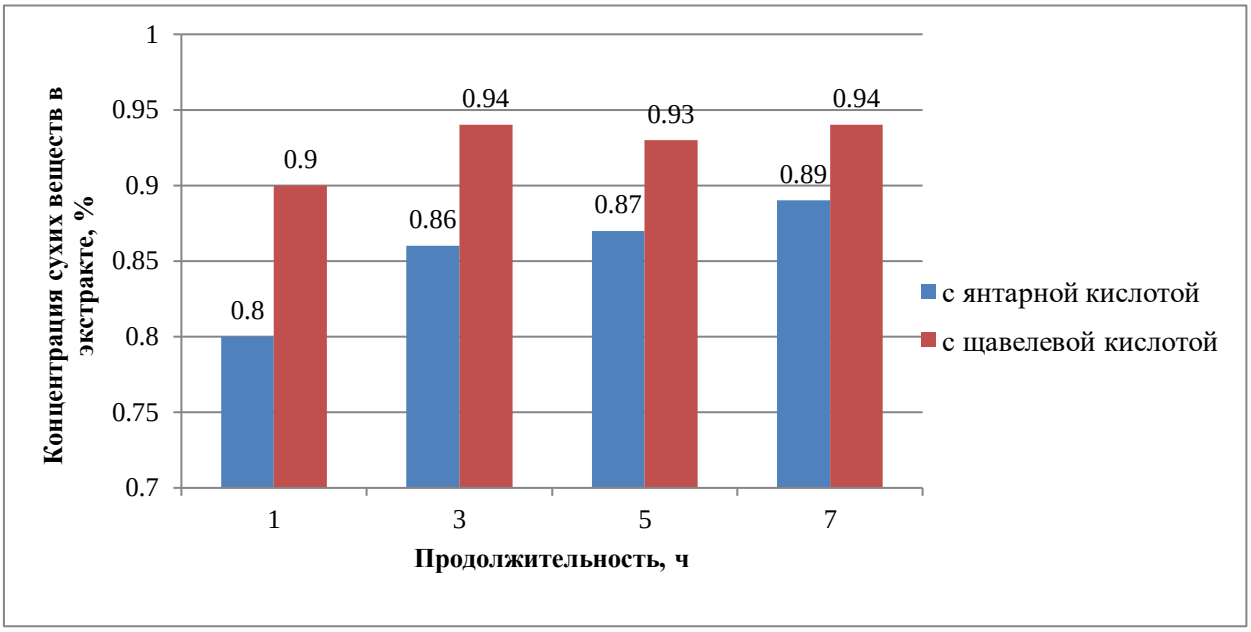


Рисунок 19 – Зависимость концентрации сухих веществ от продолжительности гидролиза - экстракции выжимок дайкона

Показано (рисунок 19), что в процессе гидролиза-экстракции пектина из выжимок дайкона с использованием янтарной кислоты концентрация сухих веществ в экстракте увеличивается в течение 7 часов, достигая максимального значения 0,888%. Использование щавелевой кислоты для гидролиза-экстракции пектина из выжимок дайкона позволяет достичь максимальной концентрации сухих веществ, равной 0,943%, через три часа обработки.

Далее кальций-пектатным методом проводили анализ хода экстракции и полноты извлечения целевого продукта – пектиновых веществ. Зависимость концентрации пектина в экстрактах от продолжительности обработки сырья и используемого гидролизующего агента представлена на рисунке 20.

Экспериментально найдены оптимальные условия достижения максимальной концентрации пектина в экстрактах: температура 60 ºС, продолжительность 5 ч (экстракция с щавелевой кислотой, концентрация

пектина 0,84%) и 7 ч (экстракция с янтарной кислотой, концентрация пектина 0,66%).

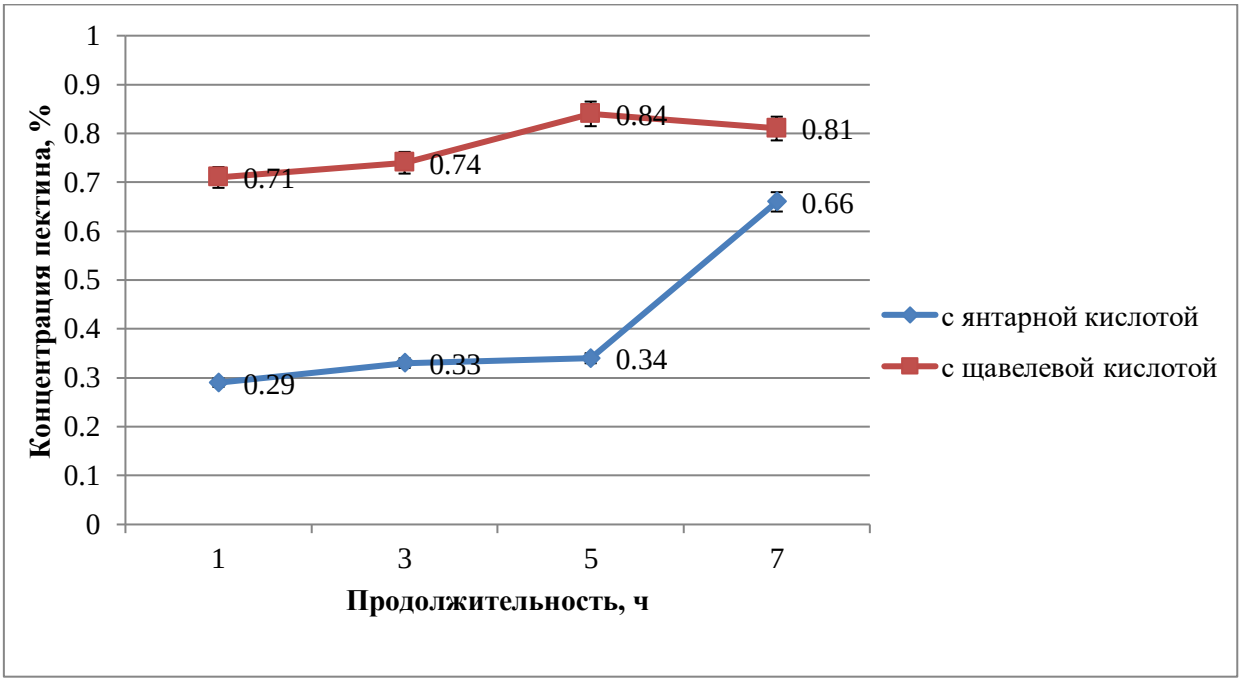


Рисунок 20 – Зависимость концентрации пектина в экстрактах от продолжительности обработки выжимок дайкона

После гидролиза-экстракции полученный продукт представляет собой пектиносодержащую однородную массу, расслаивающуюся во время хранения. Разделение данной прогидролизованной массы на твердую и жидкую фазы проводилось фильтрованием через лавсановую ткань. Оставшийся жом после гидролиза выжимок дайкона с использованием янтарной и щавелевой кислотыбыл высушени охарактеризован. Количественные массовые характеристики обеспектиненных жомов дайкона представлены в таблице 15.

Таблица 15 – Характеристики жома дайкона после гидролиза-экстракции

Образец жома	Масса жома до сушки, г	Влажность жома до сушки, %	Масса жома после сушки, г	Влажность воздушно-сухого жома, %
С янтарной кислотой	102,796	81,44	19,076	6,84
С щавелевой кислотой	132,446	87,23	16,916	5,92

Концентрирование экстрактов осуществлялось на роторно-пленочном аппарате (рисунок 21) при температуре 40 °С под вакуумом. Характеристики концентратов в сравнении с характеристиками экстрактов, полученных из выжимок дайкона, представлены в таблице 16.

Рисунок 21 – Процесс концентрирования пектинового экстракта

Таблица 16 – Характеристики пектиновых концентратов

Образцы	Объем, мл	pH	Плотность ρ ареометром	Сухие вещества, %
Экстракт с янтарной кислотой	1290	4,021	1,002	0,888
Концентрат с янтарной кислотой	240	3,958	1,020	5,099
Экстракт с щавелевой кислотой	1260	2,154	1,002	0,943
Концентрат с щавелевой кислотой	250	1,767	1,020	5,099

Осаждение пектина проводили этиловым спиртом крепостью 85%, при соотношении концентрата к этанолу, равном 1:2.

Сушка проводилась в термошкафу при температуре не более 55 °С, чтобы предотвратить деструкцию пектиновой макромолекулы.

Выделенные пектиновые вещества представляют собой аморфные порошки бежевого цвета и хорошо растворимые в воде.

В соответствии с требованиями ГОСТ 29186 далее были определены органолептические и физико-химические свойства выделенных пектинов.

3.2.1 Органолептические и физико-химические свойства пектинов

Органолептические свойства выделенных из выжимок дайкона пектинов представлены в таблице 17. Следует отметить, что они соответствуют требованиям ГОСТ 29186.

Таблица 17 – Органолептические показатели пектинов

Наименование показателя	Характеристика пектинов (обр.1 и обр.2)
Внешний вид	Порошок тонкого помола без посторонних примесей
Вкус	Слабокислый
Запах	Отсутствует
Цвет	Бежевый

Титриметрическим методом были определены такие характеристики пектинов, как содержание свободных и этерифицированных карбоксильных групп и степень этерификации.

Вискозиметрическим методом с использованием вискозиметра Оствальда определены кинематические вязкости 0,5% растворов полученных пектинов, далее по уравнению Гликмана-Орлова рассчитана их молекулярная масса.

Уронидная составляющая выделенных пектинов была определена Са-пектатным методом. Результаты по физико-химическим свойствам дайконовых пектинов, выделенных с использованием янтарной и щавелевой кислоты, были проанализированы и представлены в таблице 18.

Анализ представленных результатов показывает, что пектин, полученный из выжимок дайкона обработкой щавелевой кислотой, является высокоэтерифицированным и высокомолекулярным, в то время как у пектина, полученного из выжимок дайкона с янтарной кислотой, средневесовая молекулярная масса пектина составляет ≈ 4 кДа, что свидетельствует о наличии олигомерных фракций пектина.

Высокая вязкость является характерной особенностью растворов пектинов хорошего качества, чем выше показатель вязкости, тем выше молекулярный вес пектина, следовательно, и его желирующая способность. В данной работе более высокомолекулярным (≈10 кДа) является пектин, полученный обработкой выжимок дайкона щавелевой кислотой.

Таблица 18 – Физико-химические характеристики образцов пектина, полученных из выжимок дайкона

Характеристики пектинов	Использованные экстрагенты	
	0,5% раствор янтарной кислоты	0,5% раствор щавелевой кислоты
Влажность, %	10	10
pH раствора	4,80 (с 0.25, H_2O)	3,03(с 0.5, H_2O)
Число свободных карбокс. групп, %	2,4	11,7
Число этерифицированых карбоксильных групп, %	17,0	14,4
Степень этерификации, %	87,5	55,17
Молекулярная масса,Да	3989,9	9995,7
Кинематическая вязкость 0,5 % раствора пектина, мм^2/с	1,153	1,634
Уронидная составляющая (Са-пектатный), %	65	67

На анализаторе EuroEA-3000 (EuroVector, Италия) для определения C-, H, N-, S элементов исследован элементный состав пектинов дайкона (таблица 19). Стандарт – стрептоцид ($C_6H_8O_2N_2S$). В качестве примера приведен элементный анализ пектина, полученного обработкой 0,5% раствором щавелевой кислоты. Показано, что пектин-сырец содержит в составе белок, содержание которого колеблется в пределах 1,63-2,13%.

Таблица 19 – Элементный анализ пектина, полученного обработкой 0,5% раствором щавелевой кислоты

Образец пектина	C, %	H, %	N, %
0,5 % р-р щавелевой кислоты	36.41-36.48	6.11-6.12	0.26-0.34

Аналогично был исследован элементный состав обеспектиненных жомов дайкона и найдено, что в составе жомов белок отсутствует (табл. 20).

Таблица 20 – Элементный анализ жома после гидролиза-экстракции

Образец жома дайкона	C, %	H, %	N, %
С янтарной кислотой	39.29-39.50	7.09-7.11	–
С щавелевой кислотой	41,79-41,95	6,03-5,95	–

3.2.2 Качественный анализ пектинов методом ИК спектроскопии

ИК спектроскопия успешно используется для идентификации пектиновых веществ и позволяет определить характеристики пектина, а именно: степень этерификации, количество свободных карбоксильных групп, в том числе ионизированных.ИК спектры исследуемых образцов пектина были сняты на ИК-Фурье спектрофотометре Tensor-27фирмы Bruker с разрешением 1 см$^{-1}$ в диапазоне 400-4000 см$^{-1}$ в таблетках KBr.

В качестве стандартного образца был взят коммерческий яблочный пектин производства «Herbstreith & Fox KG» (Германия), ИК спектр представлен на рисунке 22.

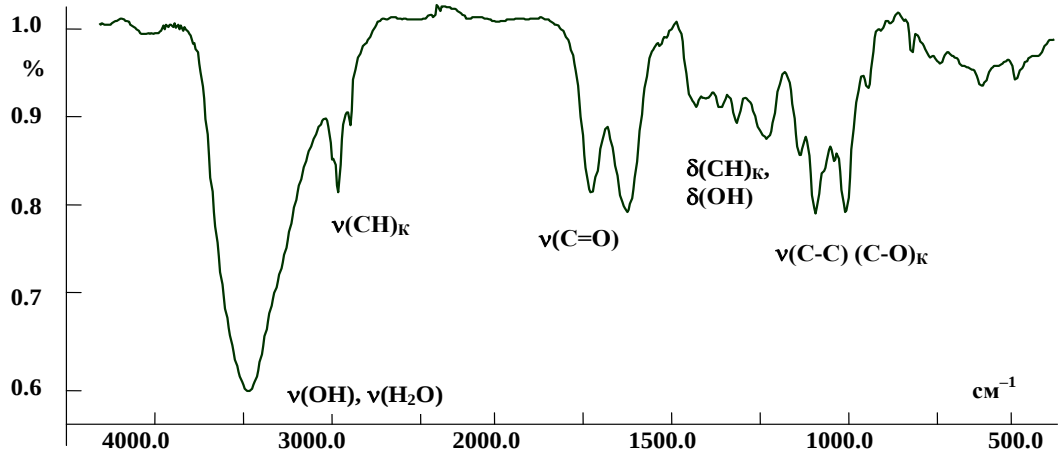


Рисунок 22 – ИК спектр яблочного пектина производства фирмы «Herbstreith & Fox KG» (Германия)

ИК спектры исследуемых образцов пектина:

– ИК спектр пектина дайкона, полученного 0,5 % раствором янтарной кислоты (рис. 23).

– ИК спектр пектина дайкона, полученного 0,5 % раствором щавелевой кислоты (рис. 24).

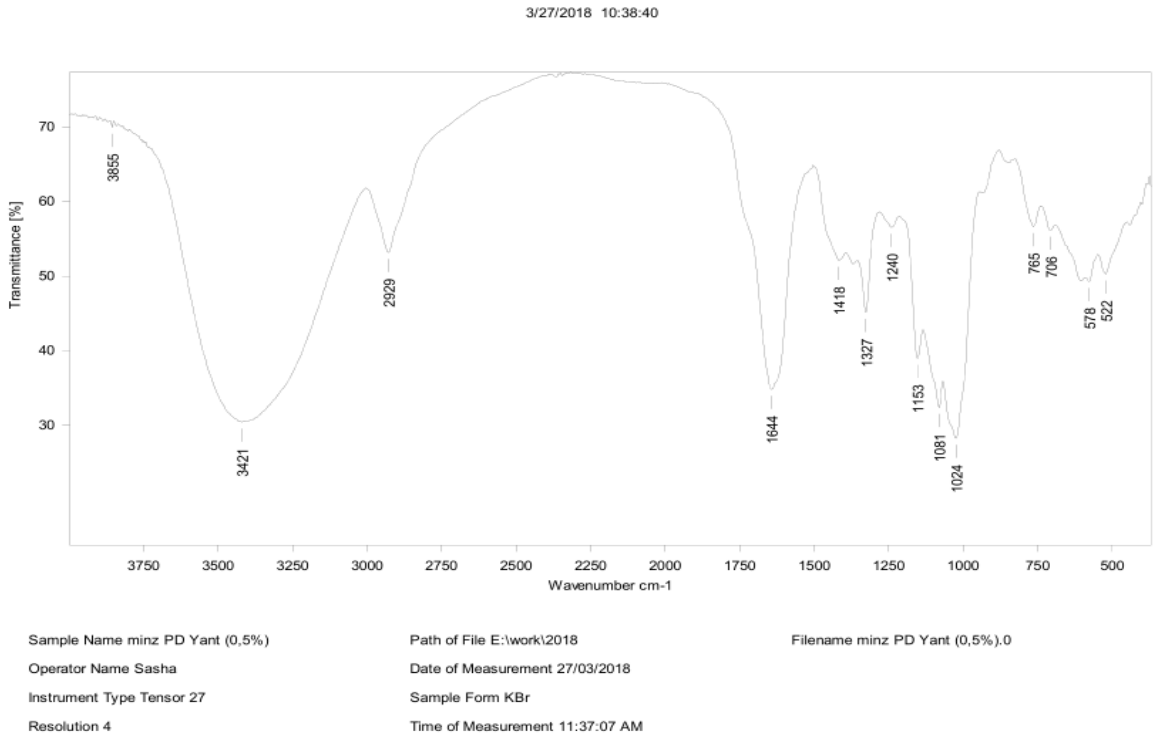


Рисунок 23 – ИК спектр пектина, полученного обработкой выжимок дайкона 0,5 % раствором янтарной кислоты

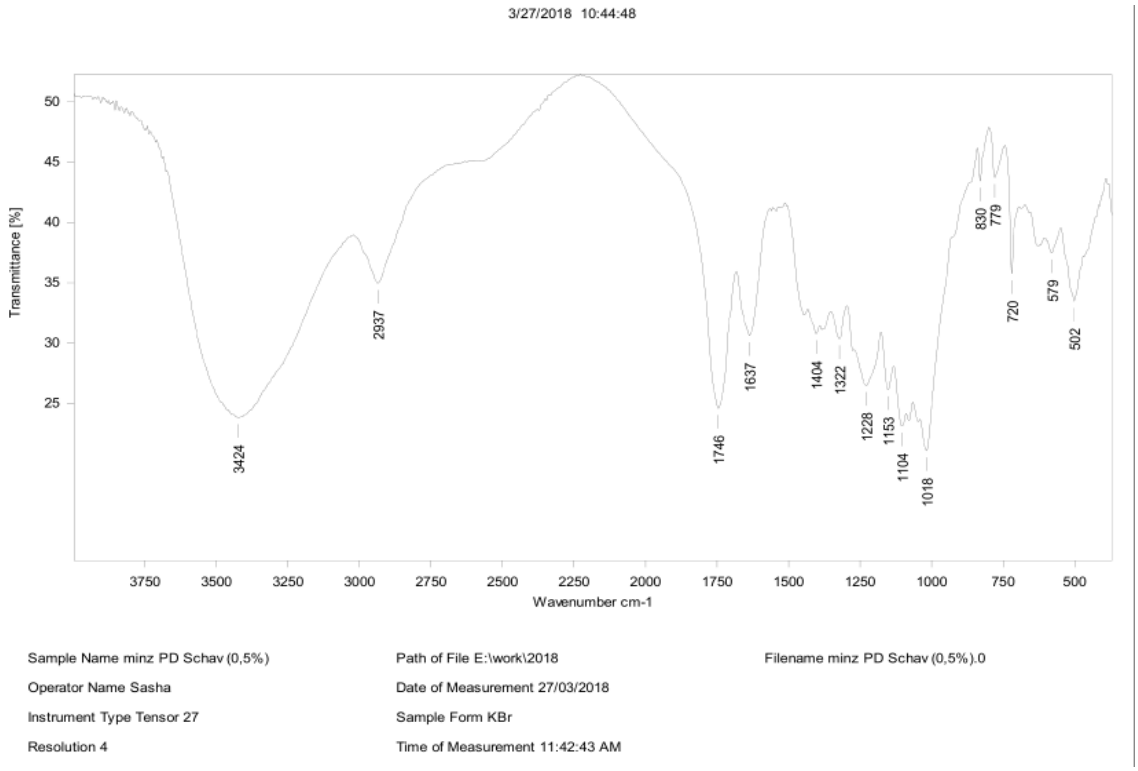


Рисунок 24 – ИК спектр пектина, полученного обработкой сырья 0,5% раствором щавелевой кислоты

Таблица 21– Отнесение частот поглощения пектиновых веществ

1 образец	2 образец	Отнесения частот
3421	3424	(OH)
2929	2937	(CH)
–	1746	ν(C=O)
1644	1637	ν(COO^-)
1153-1024	1153-1018	(C-C, C-O)

3.2.3 Микробиологические свойства пектинов

Микробиологические показатели пектинов дайкона были определены в лаборатории микробиологии в соответствии с ГОСТ 29186 (таблица 22).

Таблица 22 – Микробиологические показатели пектинов дайкона

Наименование показателей	Требования по НТД	Пектин дайкона (экстрагент – янтарная кислота)	Пектин дайкона (экстрагент – щавелевая кислота)
Количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов; КОЕ в 1 г	Не более $5.0x10^{3}$	Не выделены	Не выделены
Плесневые грибы; КОЕ в 1 г	Не более 5.0x10	Не выделены	Не выделены
Колиформные бактерии в 0.1 г	Не допускается	Не выделены	Не выделены
Патогенная и условно-патогенная микрофлора, в том числе сальмонелла, 25 г.	Не допускается	Не выделены	Не выделены

3.2.4 Функциональные свойства пектинов

Определение комплексообразующей способности пектина

Благодаря наличию свободных карбоксильных групп пектин обладает комплексообразующей способностью [65]. Комплексообразующая

способность пектина, выделенного из выжимок дайкона, с использованием 0,5% раствора янтарной кислоты в лабораторных условиях, составляет 12,95 мг Pb^{2+}/г, что значительно ниже комплексообразующей способности яблочного пектина производства компании «Hersbreith & Fox KG» – 106,19 мг Pb^{2+}/г. Комплексообразующая способность пектина, выделенного из выжимок дайкона, с использованием 0,5% раствора щавелевой кислоты составляет 58,46 мг Pb^{2+}/г.

Определение студнеобразующей способности пектина

Студнеобразующую способность дайконового пектина, полученного с использованием 0,5% раствора щавелевой кислоты, определяли в результате варки стандартных проб желе согласно методике, представленной в разделе «Методы исследования» (2.4.9). Сироп разливают в чашки Петри и оставляют на 24 часа при комнатной температуре для образования студня. Полученные студни содержат 65% сахара, 0,8% винной кислоты, 2% пектина и до 33% воды (рисунок 26).

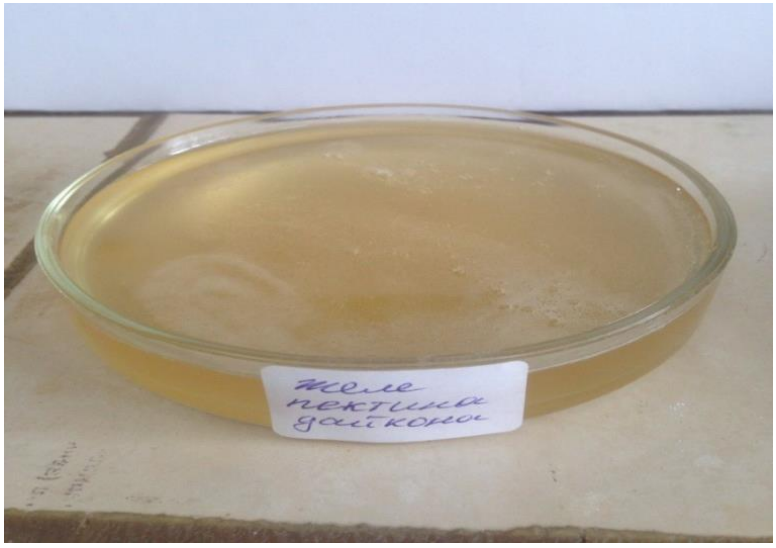


Рисунок 26 – Желе пектина дайкона

3.2.5 Технико – экономическое обоснование работы

Для оценки экономической эффективности процессов получения функциональных продуктов в ряде случаев используются технологические характеристики (время реакции, температура, концентрация конечного продукта, выход продукта), косвенно оценивающие экономичность работы.

В ходе решения поставленных задач в данной работе найдены рациональные технологические параметры процесса гидролиза-экстракции, обеспечивающие максимальную концентрацию пектина в экстрактах:

1) экстракция с янтарной кислотой: температура 60 ºС, продолжительность 7 ч, гидромодуль 1:7, концентрация пектина 0,66%;

2) экстракция с щавелевой кислотой: температура 60 ºС, продолжительность 5 ч, гидромодуль 1:7, концентрация пектина 0,84%.

Проведен аналитический расчет выхода целевого продукта – пектина в виде аморфного порошка (сухого) на АСВ сырья, результаты представлены на рисунке 27. Показано, что выход пектина на АСВ сырья, полученного обработкой выжимок дайкона с использованием 0,5% раствора янтарной и 0,5% раствора щавелевой кислот, составляет 2,33% и 7,91%, соответственно.

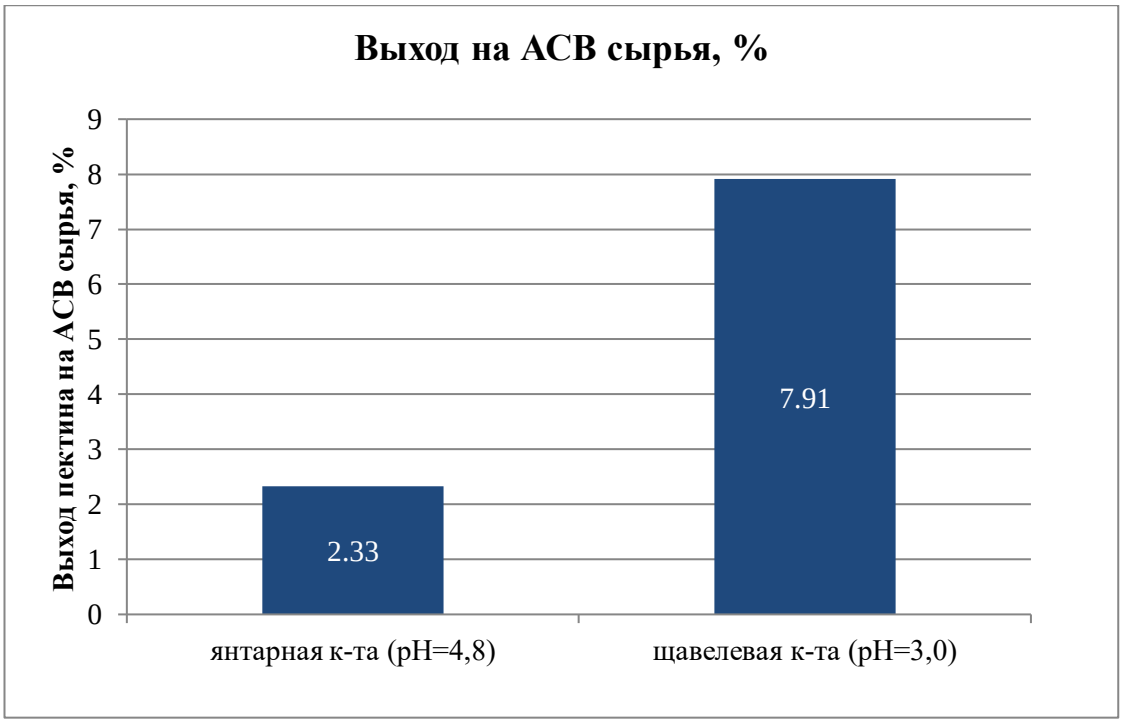


Рисунок 27 – Выход пектина на АСВ сырья

Анализ результатов показывает, что выход сухого пектина, полученного из выжимок дайкона с использованием 0,5% янтарной кислотой (pH 4,8) значительно ниже, чем при использовании щавелевой кислоты (pH 3,0). Сравнительная оценка эффективности процесса гидролиза-экстракции по концентрации пектина показывает, что при использовании янтарной кислоты в качестве гидролизующего агента для обработки выжимок дайкона

концентрация пектина в экстракте ниже на 27,3%, чем при проведении процесса гидролиза-экстракции с использованием щавелевой кислоты.

Вероятно, это связано с жесткой структурой сырья – корнеплодов дайкона [11], что обусловливает необходимость повышения концентрации янтарной кислоты для повышения pH, либо увеличения продолжительности процесса гидролиза-экстракции (более 7 часов), что безусловно приводит к дополнительным затратам.

На основании вышесказанного, целесообразным для практического применения является использование в качестве готового продукта концентрата дайкона с янтарной кислотой, т.к. он не содержит непищевых компонентов, при этом янтарная кислота и пектин обладают биологической активностью. Это позволит избежать потерь пектина и олигосахаридов на этапе осаждения.

Следовательно, корнеплоды дайкона могут быть использованы в качестве сырья для разработки технологии функционального продукта пектина и пищевых концентратов лечебно-профилактического питания.

Анализ затрат на проведение процессов гидролиза-экстракции пектинов из корнеплодов дайкона

Цена любого товара зависит от его начальной себестоимости, которая рассчитывается по специальной формуле с учетом ряда затрат. Под себестоимостью товара подразумевают сумму, которая была затрачена на его производство. Она включает в себя затраченные природные ресурсы, сырье, материалы, топливо, энергию, транспортировку, оплату труда работникам производства и прочие затраты. Не существует единой методики расчетов себестоимости. В зависимости от вида товара, его производства и множества различных факторов, себестоимость продукции может исчисляться по-разному.

ПС = (Совокупные затраты на производство + Издержки на реализацию товара)/калькуляционная единица (14)

ПС – полная себестоимость продукции

Данная работа носит поисково-исследовательский характер. Поскольку на данном этапе исследований экономический эффект рассчитать невозможно, экономические расчеты сводятся к определению суммы затрат

на проведение НИР, где учитывают затраты на основные и вспомогательные материалы, энергию, амортизацию оборудования, заработную плату с отчислениями, накладные расходы [84].

Учитывая аналогичность стадий подготовки сырья и последующих после процесса гидролиза-экстракции стадий принципиальной схемы получения пектина (рисунок 6), выбор наиболее рационального способа переработки корнеплодов дайкона осуществляли на основании экономического показателя, характеризующего материальные и энергетические затраты на получение 100 л экстракта.

Затраты на основные и вспомогательные материалы складываются из расхода материалов (таблица 23).

Таблица 23 – Затраты на основные материалы на получение 100 л экстракта

Наименование материала	Единица измерения	Количество	Цена, руб.	Сумма, руб.
H_2O дист.	л	108,53	17,8	1931,83
Янтарная кислота	кг	0,55	170	93,50
Щавелевая кислота	кг	0,56	87	48,72

Таблица 24 – Расходы электроэнергии

Наименование электрооборудования	Мощность, кВт	Время работы, ч		Потребляемая электроэнергия (теоретическая электроэнергия), кВт/ч	
		с янтарной к-той	с щавелевой к-той	с янтарной к-той	с щавелевой к-той
Реактор	15	7,5	5,5	112,5	82,5
Весы аналитические	0,12	0,5		0,06	
Итого:				112,56	82,56

Расход электроэнергии (таблица 24).

Фактически расход электроэнергии рассчитывается по формуле:

$Э=Э_{теор}\cdot К_м$, (15)

где $К_м$ – коэффициент использования мощности ($К_м = 0,9$)

Э = 112,56·0,9 = 101,304 кВт/ч (с янтарной к-той)

Э = 82,56·0,9 = 74,304 кВт/ч (с щавелевой к-той)

Стоимость израсходованной электроэнергии определяется по формуле:

$Э_{из}$=Э·С, (2)

где С – стоимость 1 кВт/ч энергии (С = 3,78 руб.)

$Э_{из}$ = 101,304·3,78 = 382,93 руб. (с янтарной к-той)

$Э_{из}$ = 74,304·3,78 = 280,87 руб. (с щавелевой к-той)

Амортизационные отчисления рассчитываются по стационарному оборудованию со сроком службы не менее одного года (таблица 25).

Таблица 25 – Затраты на стационарное оборудование

Наименование оборудования	Стоимость, руб.	Норма амортизации, %	Сумма амортизации, руб.
Весы аналитические	39500	20	7900
Реактор	85000	20	17000
Итого:			24900

Амортизационные отчисления за время исследования определяется по формуле:

$$A_{ф}^{0} = \frac{\sum A_{г}^{0} \times n}{12}, \quad (16)$$

где $\sum A_г^0$ – годовая сумма амортизационных отчислений,

n – число месяцев работы оборудования при проведении данного исследования (возьмем 1 день эксперимента, поэтому n = 1/22 - обычно 22 рабочих дня в месяце)

$$A_{ф}^{0} = \frac{24900 \times \frac{1}{22}}{12} = 94{,}32$$

Себестоимость 100 л экстракта пектина, полученного с янтарной кислотой:

$$ПС = \frac{1{,}95+93{,}50+382{,}93+94{,}32}{100} = 5{,}73 \text{ руб./л}$$

Себестоимость 100 л экстракта пектина, полученного с щавелевой кислотой:

$$ПС = \frac{1,95+48,72+280,87+94,32}{100} = 4,26 \text{ руб./л}$$

Таким образом, анализ затрат на проведение процессов гидролиза-экстракции пектинов из корнеплодов дайкона при рациональных условиях показал, что себестоимость 100 л пектинсодержащего экстракта, полученного обработкой выжимок дайкона щавелевой кислотой ниже, чем при обработке янтарной кислотой на 34,51%.

Экономические показатели, характеризующие материальные и энергетические затраты, приведенные к единице целевого продукта – 1 кг пектина.

Экспериментально было показано, что 1,26 л экстракта из выжимок дайкона позволяет получить 1,56 г пектина, 100 л экстракта (щавелевая к-та) – 123,81 г. Следовательно, для наработки 1 кг надо провести 8 экстракций, себестоимость общего объема экстракта составит (4,26 х 100 х 8) = 3408 руб.

3.3 Ферментативный гидролиз

В рамках приоритетного направления «Рациональное пользование» продолжены исследования по оценке возможности вовлечения в хозяйственный оборот обеспектиненных жомов дайкона. В таблице 26 представлены экспериментальные данные по количеству образовавшегося обеспектиненного жома в процессе получения пектина обработкой выжимок дайкона растворами янтарной или щавелевой кислоты (0.5%). Элементный состав обеспектиненных жомов дайкона (табл. 20) свидетельствует о высоком содержании в них целлюлозы, что позволяет рекомендовать их в качестве структуранта почвы [22] и/или источника углерода для питательной среды.

Таблица 26 – Количественные характеристики обеспектиненных жомов дайкона после гидролиза-экстракции

Масса исходного сырья, г	200,0
Влажность сырья, %	90,14
Абсолютно сухой вес сырья, г	19,72

0,5% щавелевая кислота	
Масса обеспектиненного жома, г (Воздушно-сухой вес)	16,916
Влажность, %	5,92
Абсолютно сухой вес обеспектинового жома, г	15,9
Масса утилизированного сырья, г	3,82
Степень утилизации выжимок дайкона, %	19,4
0,5% янтарная кислота	
Масса обеспектиненного жома, г (Воздушно-сухой вес)	19,076
Влажность, %	6,83
Абсолютно сухой вес обеспектинового жома, г	17,8
Масса утилизированного сырья, г	1,92
Степень утилизации выжимок дайкона, %	9,7

На этапе подготовки вторичного сырья обеспектиненные жомы дайкона измельчали на лабораторной мельнице и просеяли через сито диаметром отверстий 1 мм (рисунок 28).

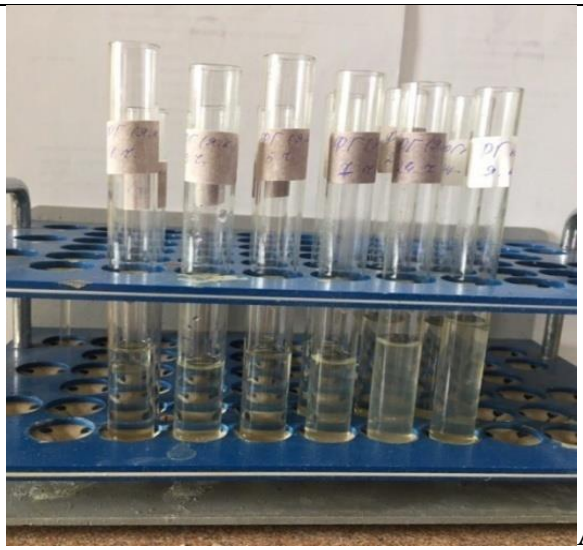
А) Жом дайкона после гидролиза-экстракции пектина янтарной кислотой (А)	Б) Жом дайкона после гидролиза-экстракции пектина щавелевой кислотой (Б)

Рисунок 28 – Измельченные и просеянные обеспектиненные жомы дайкона после гидролиза-экстракции янтарной (А) и щавелевой (Б) кислотой

Далее проводили ферментативный гидролиз с использованием ферментного препарата Целлолюкс-А для получения редуцирующих сахаров как источник углерода питательных сред, применяемых в биотехнологии.

Для проведения ферментативного гидролиза параллельно в стаканы объемом 250 мл насыпали по 5 г сырья (рисунок 28 А и Б), наливали по 190 мл дистиллированной воды (гидромодуль 1:38) и затем добавляли по 0,5 г Целлолюкса-А. Для равномерного распределения ферментного препарата содержимое стаканов перемешивали на магнитной мешалке в течение 10 минут, после чего образцы ставили в термостат при 50 ºС и проводили процесс гидролиза.

Для определения концентрации редуцирующих веществ (РВ) в ферментолизатах через 1, 3, 5, 8, 24, 33 часа проводили отбор проб (рисунок 29 А). После окончания процесса гидролиза дезактивацию ферментного препарата в образцах проводили термостатированием при 100 ºС в течение 15 мин. Далее были получены супернатанты (фугаты) на центрифуге EBA 20 фугованием в течение 10 мин при 6000 об/мин (рисунок 29 Б).


А

Б

Рисунок 29 – Пробы ферментолизатов, отобранные через 1, 3, 5, 8, 24, 33 ч (А), процесс центрифугирования проб ферментолизатов (Б)

Определение концентрации редуцирующих веществ в отобранных пробах (1, 3, 5, 8, 24, 33 ч) проводили йодометрическим методом в пересчете на глюкозу. Зависимость концентрации РВ от продолжительности процесса гидролиза образцов (I и II) обеспектиненного жома дайкона с

использованием ферментного препарата Целлолюкс-А представлена на рисунке 30. Показано, что в обоих экспериментах с увеличением продолжительности процесса гидролиза концентрация РВ в ферментолизатах увеличивается. Ферментативный гидролиз жома дайкона, обработанного на этапе получения пектина янтарной кислотой, обеспечивает более высокую концентрацию РВ в ферментолизате, равную ~ 1,06%, в то время как ферментативный гидролиз жома дайкона, обработанного щавелевой кислотой, обеспечивает концентрацию РВ ~ 0,51%.

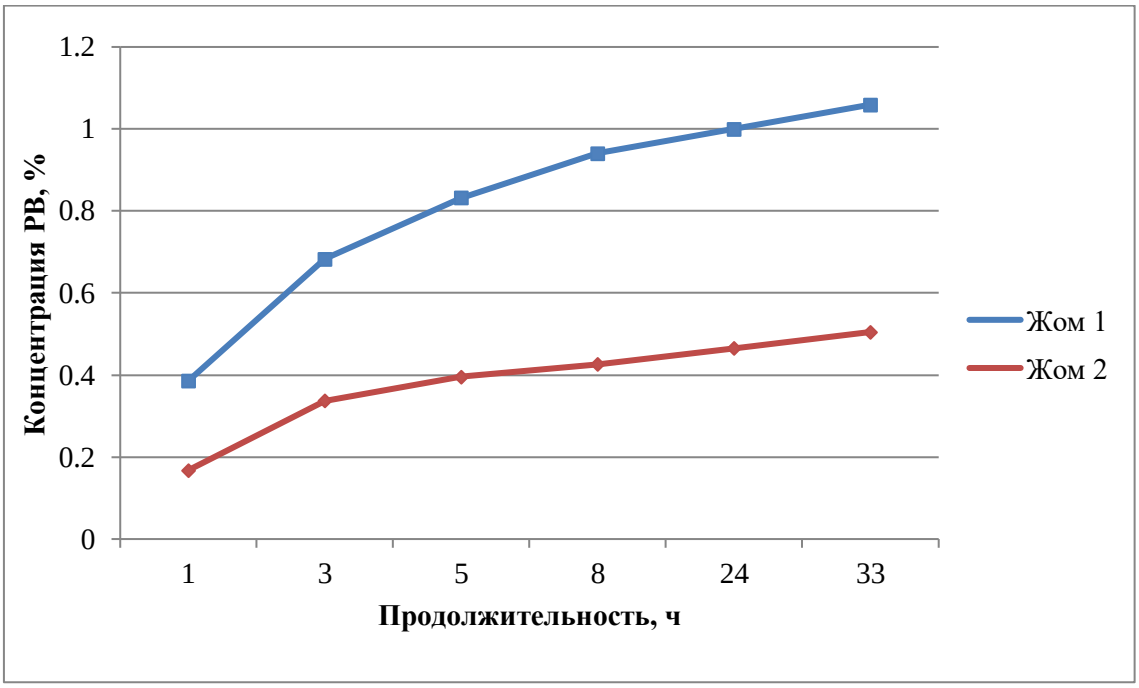


Рисунок 30 – Зависимость концентрации РВ от продолжительности ферментативного гидролиза

Далее для каждой пробы был рассчитан выход РВ по отношению к воздушно-сухой массе обеспектиненного жома дайкона. Полученные характеристики ферментолизатов исследованных образцов обеспектиненного жома дайкона, представлены в таблицах 27 и 28, соответственно.

На эффективность протекания гидролиза, наряду с температурным фактором, оказывают влияние измельчение сырья, а также интенсивность перемешивания, обеспечивая большую доступность субстрата для ферментного препарата за счет увеличения поверхности массообмена, а также равномерного распределения взаимодействующих компонентов [85].

Таблица 27 – Характеристики ферментолизатов обеспектиненного жома дайкона, полученного обработкой янтарной кислотой

Продолжительность ФГ	pH	Концентрация РВ, %	Выход РВ,%
1 ч	4,461	0,3860	12,35
3 ч	3,752	0,6830	21,86
5 ч	3,724	0,8320	26,62
8 ч	3,711	0,9406	30,10
24 ч	3,716	1,0000	32,00
33 ч	3,706	1,0594	34,00

Таблица 28 – Характеристики ферментолизатов обеспектиненного жома дайкона, полученного обработкой щавелевой кислотой

Продолжительность ФГ	pH	Концентрация РВ, %	Выход РВ, %
1 ч	3,538	0,168	5,38
3 ч	2,819	0,337	10,78
5 ч	2,780	0,396	12,67
8 ч	2,794	0,426	13,63
24 ч	2,790	0,465	14,88
33 ч	2,789	0,505	16,20

Конечные ферментолизаты (33 ч) обеспектиненного жома дайкона были охарактеризованы дополнительно на содержание сухих веществ, золы и белка. Экспериментальные результаты представлены в таблице 29.

Таблица 29 – Характеристики ферментолизатов жома дайкона (33 ч)

Образцы	Сухой остаток, %	Зола в растворе, %	Зола в сухом остатке, %	Сахара (глюкоза), %	Белок по Лоури, %
Ферментолизат жома 1	1,910	0,146	7,64	0,965	0,073
Ферментолизат жома 2	1,096	0,110	10,00	0,495	0,048

Следует отметить, что данные ферментолизаты были проанилизированы на содержание сахаров после фильтрования (без центрифугирования), что объясняет небольшое различие значений концентрации редуцирующих сахаров при 33 ч.

В ферментолизате обеспектиненного жома дайкона после кислотного гидролиза с янтарной кислотой, полученном в процессе обработки в течение 33 ч с использованием ферментного препарата Целлолюкс-А, достигается наибольший выход РВ (сухой остаток составляет 1,91%, из них редуцирующих сахаров 0,965%).

Таким образом, в рамках выполнения данной работы предложена и апробирована схема комплексной переработка корнеплодов дайкона, позволяющая получить сок, пектин, обеспектиненный жом и редуцирующие вещества. Выход сока составляет 31,25% от массы корнеплодов дайкона, выход пектина на АСВ сырья в зависимости от гидролизующего агента – 2,33% (янтарная кислота) и 7,91% (щавелевая кислота), в то время, как концентрация редуцирующих веществ в ферментолизатах равна 0,965% (жом 1, янтарная кислота) и 0,495% (жом 2, щавелевая кислота).

Следует подчеркнуть, что способ получения пектина с использованием пищевой янтарной кислоты является экологически безопасной, при этом данный способ позволяет использовать в качестве конечных продуктов пектин в виде аморфного порошка, а также пектиновый концентрат. Это позволяет рекомендовать корнеплоды дайкона в качестве сырья для разработки технологии функционального продукта пектина и пищевых концентратов лечебно-профилактического питания.

Предложенная схема комплексной переработки корнеплодов дайкона способствует повышению эффективности переработки сельскохозяйственных культур и созданию малоотходных технологий, решая задачи рационального природопользования.

Как было отмечено, водный этанол, образующийся после отделения осажденного пектина, направляется на регенерацию. Анализ состава обеспектиненных жомов (таблица 20) позволяет рекомендовать их в качестве структуранта почвы или источника углерода для питательных сред в биотехнологии. Выход РВ на АСВ обеспектиненного жома составляет 9,37% (жом 1, янтарная кислота) и 5,03% (жом 2, щавелевая кислота).

Заключение

Таким образом, проведенные в рамках НИР исследования показали перспективность кислотного гидролиза-экстракции пектина из корнеплодов дайкона с использованием щавелевой кислоты (60 ºС, 5 ч, гидромодуль 1:7), обеспечивающего высокий выход пектина на АСВ сырья, равный 7,91%.

С позиции экологической безопасности производства необходимо отметить, что кислотный гидролиз с использованием янтарной кислоты позволяет получать готовый продукт в качестве концентрата дайкона, т.к. янтарная кислота является пищевой в отличие от органической щавелевой кислоты. Комплексный подход к переработке сырья способствует решению проблемы ресурсосбережения.

На основании полученных результатов установлено, что корнеплоды дайкона могут быть использованы как в качестве сырья для разработки технологии функционального продукта пектина, так и пищевых концентратов лечебно-профилактического питания.

ВЫВОДЫ

1. Проведен обзор литературы по теме: «Дайкон – перспективный источник получения ценного продукта – пектина. Состав, строение, свойства, способы получения и области применения пектинов»;

2. Исследованы и выявлены особенности процесса гидролиза-экстракции пектиновых веществ из корнеплодов дайкона с использованием 0,5%-ных растворов янтарной и щавелевой кислоты. Установлено, что выход пектина на АСВ сырья составляет: 2,33% (условия: янтарная кислота, 60 ºС, 7 ч, гидромодуль 1:7); 7,91%(условия: щавелевая кислота, 60 ºС, 5 ч, гидромодуль 1:7);

3. Исследованы физико-химические, структурные (ИК спектроскопия) и функциональные свойства выделенных пектиновых полисахаридов:СЭ = 87,5%; ММ = 3,99 кДа (янтарная кислота); СЭ = 55,2%; ММ = 9,99 кДа (щавелевая кислота);

4. Исследованы процессы ферментативного гидролиза жомов дайкона после извлечения пектина с использованием ферментного препарата Целлолюкс-А и характеристики полученных гидролизатов: РВ = 0,965% (янтарная кислота); РВ = 0,495% (щавелевая кислота);

5. Проведена сравнительная оценка затрат на процессы гидролиза-экстракции пектина из выжимок дайкона с использованием различных кислот: 5,73 руб./л – себестоимость экстрактов пектина с янтарной кислотой; 4,26 руб./л с щавелевой кислотой. Затраты, приведенные к единице (1 кг) целевого продукта – пектина из корнеплодов дайкона с использованием щавелевой кислоты, составляют 3408,0 руб.

Список использованных источников

1. Немтинов В.И. Методика селекции и семеноводства дайкона в Крыму / В.И. Немтинов // Овощи России. - 2019. - № 2 (46). – С. 27-30.

2. Донченко Л.В. Безопасность пищевого сырья и продуктов питания / Л.В. Донченко, В.Д. Надыкта // Пищевая промышленность. - 1999. – С. 352.

3. Воробьева В.И. Комплексная ресурсосберегающая переработка отходов растительного сырья / В.И. Воробьева, Е.Э. Чигиринец, М.И. Воробьева // Энергетика. Инновационные направления в энергетике. CALS-технологии в энергетике. - 2014. - № 1. – С. 112-118.

4. Косенко М.А. Создание исходного материала редьки европейской / М.А. Косенко // Международный научно-исследовательский журнал. - 2019. - № 9 (87). – С. 55-58.

5. Донченко Л.В. Применение нетрадиционного сырья для получения пектиновых веществ / Л.В. Донченко, Ю.Р. Глубоковских, А.Н. Косс // Фундаментальная наука и технологии - перспективные разработки. - 2019. – С. 89-91.

6. Минзанова С.Т. Пектины из нетрадиционных источников: технология, структура, свойства и биологическая активность / С.Т. Минзанова, В.Ф. Миронов, А.И. Коновалов, А.Б. Выштакалюк, О.В. Цепаева, А.З. Миндубаев, Л.Г. Миронова, В.В. Зобов. // Казань: Изд-во «Печать-Сервис-XXI век». - 2011. – С. 224.

7. Земскова Ю.К. Получение корнеплодов дайкона в Энгельсском районе Саратовской области / Ю.К. Земскова, Н.М. Тутаева, Е.В. Дементьева // Аграрный вестник Урала. - 2011. - № 1 (80). – С. 50-52.

8. Борисов В.А. Качество и лежкость овощей / В.А. Борисов, С.С. Литвинов, А.В. Романова // Москва. - 2003.– С. 261-270.

9. Борисенко Д.В. Овощные функциональные ингредиенты в технологии хлеба с повышенной микробиологической устойчивостью / Д.В. Борисенко // Воронежский государственный университет инженерных технологий. - 2014. – С. 309.

10. Гаплаев М.Ш. Агроэкологическая оценка дайкона в условиях Чеченской Республики / М.Ш. Гаплаев, Ш.М. Абасов, Р.А. Джукалаев // Материалы 6 ежегодной итоговой конференции профессорско-преподавательского состава Чеченского государственного университета. - 2017. – С.171-175.

11. Katsunari I. Antioxidative effects of daikon sprout (*Raphanus sativus* L.) and ginger (*Zingiber officinale Roscoe*) in rats / I. Katsunari // Food Chemistry. - 2007. - № 102. – P. 237-242.
12. Katsunari I. Milk prevents the degradation of daikon *(Raphanus sativus* L.) isothiocyanate and enhances its absorption in rats / I. Katsunari // Food Chemistry. - 2014. - № 161. – P. 176-180.
13. Либман Б.Г. Применение лизоцима в медицине / Б.Г. Либман // Советская медицина. - 1971. - № 11.
14. Okine A. Ensiling characteristics of daikon (*Raphanus sativus*) by-product and its potential as an animal feed resource / A. Okine // Animal Feed Science and Technology. - 2007. - № 136. – P. 248-264.
15. Оводова Р.Г. Новейшие сведения о пектиновых полисахаридах / Р.Г. Оводова, В.В. Головченко, С.В. Попов, Ю.С. Оводов // Известия Коми научного центра УРО РАН. - 2010. – С. 37-45.
16. Rosik J. Collection Czechoslov / J. Rosik // J. Chem. Commun. - 1962. – P. 1346-1350.
17. Оводов Ю.С. Полисахариды цветковых растений: структура и физиологическая активность / Ю.С. Оводов // Биоорганич. хим. - 1998. - № 7. – С. 483-501.
18. Bonnin E. Characterisation of pectin subunits released by an optimized combination of enzymes / E. Bonnin // Carbohydr. Res. - 2002. - Vol. 337. - № 18. – P. 1687-1696.
19. Оводов Ю.С. Пектиновые вещества растений Европейского Севера России / Ю.С. Оводов // Екатеринбург. - 2009. – С. 110.
20. Шелепина Н.В. Современный рынок пектиновых веществ / Н.В. Шелепина // Вестник Орел ГИЭТ. - 2019. - № 2 (48). – С. 105-108.
21. Минзанова С.Т. Интенсификация экстракции пектинов из дайкона в аппарате роторно-пульсационного типа / С.Т. Минзанова, В.Ф. Миронов, В.В. Зобов, О.В. Цепаева, А.Б. Выштакалюк, Л.Г. Миронова, К.В. Холин, А.З. Миндубаев, академик А.И. Коновалов // Доклады академии наук. - 2011. - № 2. – С. 214-218.
22. Белюченко И.С. Отходы быта и производства как сырье для подготовки сложных компостов: монография / И.С. Белюченко // Краснодар: КубГАУ. - 2015. – С. 418.

23. Воробьева Т.Н. Использование отходов виноделия в виноградарстве: монография / Т.Н. Воробьева, А.С. Белков // Краснодар: КубГАУ. - 2018. – С. 73.
24. Аверьянова Е.В. Пектин: методы выделения и свойства / Е.В. Аверьянова // Бийск. Издательство Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова. - 2015. – С.8.
25. Родионова Л.Я. Создание новых видов мясорастительных консервов с использованием пектина для диетического профилактического питания людей / Л.Я. Родионова // Молодой учёный. - 2015. - № 5.1 (85.1).
26. Потрясов Н.В. Использование пектина в различных технологиях / Н.В. Потрясов // Молодой ученый. - 2014. - № 4. – С. 242-244.
27. Государственная фармакопея РФ.- М.: Науч. центр экспертизы средств мед. Применения. - 2015. - № 13. - Ч. 1. – С. 1459.
28. Кацева Г.П. Исследование взаимодействия пектиновых веществ с солями меди, ртути, цинка и кадмия / Г.П. Кацева // Химия природных соединений. - 1988. - № 2. – С. 171-175.
29. Хрундин Д.В. Пектин: освоенные и потенциальные возможности применения в пищевой промышленности / Д.В. Хрундин // Казанский государственный технологический университет. - 2008. - № 3. – С. 35-39.
30. Афанасьева Ю.Ю. Исследование комплексообразующей способности пектина из яблочных выжимок / Ю.Ю. Афанасьева, С.Т. Минзанова // Секция «Биотехнология». - 2019. – С. 124-125.
31. Кукин М.Ю. Сырьё. Способы промышленного получения пектина / М.Ю. Кукин // Международная научно-практическая конференция, посвященная памяти Василия Матвеевича Горбатова. - №1. - 2017. – С. 209.
32. Ключникова М.А. Интенсификация процесса гидролиза пивной дробины с использованием роторно-пульсационного аппарата / М.А Ключникова // Вестник КГТУ. - 2007. - № 13. – С. 307-311.
33. Григорьева О.Н. Кислотный гидролиз лигноцеллюлозосодержащего сырья в технологии получения биоэтанола / О.Н.Григорьева, М.В.Харина // Вестник Казанского технологического университета. - 2016. - №10. – С. 129-131.
34. Беляев А.Г. Совершенствование процесса получения пектиновых веществ из растительного сырья / А.Г. Беляев, Л.Х. Лазарева, К.В. Круговых, О.А.

Кучерявых // Технологии производства пищевых продуктов питания и экспертиза товаров. - 2015. – С. 32-36.
35. Болотникова О.И. Кислотный и энзиматический гидролиз непищевых источников растительной биомассы: перспективы промышленной реализации / О.И. Болотникова, Н.П. Михайлова , А.И. Гинак // Известия Санкт-Петербургского государственного технологического института (технического университета). - 2017. - № 39. – С. 89-95.
36. Дорохова Я.С. Получение белкового гидролизата из пухоперового сырья методом кислотного гидролиза / Я.С. Дорохова, Е.Н. Розанова, И.Б. Кометиани, Е.С. Соболева // Сборник статей X Всероссийской научно-практической конференции «Нанотехнологии: образование, наука, инновации». - 2019. – С.112.
37. Легко- и трудногидролизуемые полисахариды древесины. Кислотный гидролиз [Электронный ресурс] / – Режим доступа: http://www.iefusfeu.ru/images/Images_users/Vurasko/240100.68/tema_6._Gidroliz.pdf , свободный. (Дата обращения: 21.01.2020)
38. Базарнова Н.Г. Ферментативный гидролиз соломы гречихи, овса и сои препаратом Целлолюкс-А / Н.Г. Базарнова, М.В. Зеленцова, И.В. Микушина// Биотехнология и общество в XXI веке биотехнология и общество в XXI веке. - 2015. – С. 118-121.
39. Харина М.В. Предобработка и ферментативный гидролиз лигноцеллюлозосодержащих отходов сельского хозяйства / М.В. Харина // Казань. - 2013. – С.3.
40. Крумликов В.Ю. Ферментативный гидролиз. Получение белковых гидролизатов. Исследование их свойств / В.Ю. Крумликов // Наука, образование, общество: тенденции и перспективы развития. - 2015. – С.15-17.
41. Фазлиев И.И.Ферментативный гидролиз пивной дробины / И.И. Фазлиев, С.Т. Минзанова, Ф.Ю. Ахмадуллина , Л.Г. Миронова // Экология и промышленность России . - 2012. - № 8. – С. 20-22.
42. Ковалев А.А. Ферментативный гидролиз вегетативной части топинамбура ферментным препаратом «Брюзайм BGX» / А.А. Ковалев, Н.А. Чупрова, Т.В. Рязанова // Научный фонд "Биолог". - 2015. - № 3 (7). – С. 9.

43. Макарова Е.И. Биоконверсия непищевого целлюлозосодержащего сырья. Часть 2 / Е.И. Макарова, В.В. Будаева // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. - Т. 6. - 2016. - №3. – С. 26-35.
44. Макарова Е.И. Ферментативный гидролиз целлюлоз из плодовых оболочек овса при различных концентрациях субстрата / Е.И. Макарова, В.В. Будаева, Е.А. Скиба // Химия растительного сырья. - 2013. - № 2. – С. 43-50.
45. Pirkko F. Hydrolysis of Brewers' Spent Grain by Carbohydrate Degrading Enzymes / F. Pirkko // J. Inst. Brew. - 2008. – P. 306-314.
46.http://membrane.nethouse.ru/static/doc/0000/0000/0221/221091.j4bml72rl6.pdf
47. Таганович А.Д. Биологическая химия: краткий курс лекций для иностранных учащихся стомфака / А.Д. Таганович // Мн.: БГМУ. - 2005. – С. 119.
48. Авилова И.А. Особенности получения и производства пектина с применением нанотехнологий / И.А. Авилова // Известия Юго-Западного государственного университета. - №1. - 2014. – С. 77.
49. Шмид Р. Наглядная биотехнология и генетическая инженерия / Р. Шмид // Бином лаборатория знания. Москва. - 2015. – С. 327.
50. Баланов П.Е. Ресурсосберегающие технологии при производстве пектина / П.Е. Баланов, И.В. Смотраева, О.Б. Иванченко, Р.Э. Хабибуллин // Вестник Казанского технологического университета. - 2016. - № 24. – С. 138-141.
51. Созаева Д.Р. Способы гидролиза-экстрагирования пектиновых веществ / Д.Р. Созаева // Известия Кабардино-балкарского государственного университета. - 2017. - № 2. – С. 59-63.
52. Zhang L. Ultrasound effects on the degradation kinetics, structure and rheological properties of apple pectin / L. Zhang, X. Ye, T. Ding, X. Sun, Y. Xu, D. Liu // Ultrasonics Sonochemistry. - 2013. - № 20. – P. 222–231.
53. Минзанова С.Т. Научные основы комплексной переработки фитомассы амаранта / С.Т. Минзанова, В.Ф. Миронов, А.И. Коновалов, А.Н. Карасева, А.Б. Выштакалюк, А.З. Миндубаев, В.В. Карлин, О.В. Цепаева // Бутлеровские сообщения. - 2005. - Т. 7. - № 4. – С. 25-35.
54. Маркин В.И. Основные направления использования микроволнового излучения при переработке растительного сырья (обзор) / В.И. Маркин, М.Ю. Чепрасова, Н.Г. Базарнова // Химия растительного сырья. - 2014. - № 4. – С. 21-42.

55. Minzanova S.T. Biological Activity and Pharmacological Application of Pectic Polysaccharides: A Review / S.T. Minzanova, V.F. Mironov, D.M. Arkhipova, AV. Khabibullina, L.G. Mironova, Y.M. Zakirova, V.A. Milyukov // Polymers. - 2018. - № 10(12). – P. 1407-1437.
56. Wang S. Optimization of pectin extraction assisted by microwave from apple pomace using response surface methodology / S. Wang, F. Chen, J. Wu, Z. Wang, X. Liao, X. Hu // Food Engineering. - 2007. - № 78 – P. 693-700.
57. Antony A.S. A Review - Pectin from Agro and Industrial Waste / Antony A.S. // International Journal of Applied Environmental Sciences. - 2017. - № 10. – P. 1777-1801.
58. Типсина Н.Н. Вестник Красноярского государственного аграрного университета / Н.Н. Типсина // 2014. - № 12. – С. 231-233.
59. Giang T.T. Structure–activity relationship of immunomodulating pectins from elderberries / T.T. Giang // Carbohydrate Polymers. - 2015. - № 125. – С. 314-322.
60. Аджиахметова С.Л. Изучение реологических и сорбционных свойств пектинсодержащих растворов из листьев рябинника рябинолистного / С.Л. Аджиахметова // Фармация и фармакология. - 2017. - № 5. – С. 442.
61. Chomto P. Physicochemical and powder characteristics of various citrus pectins and their application for oral pharmaceutical tablets / P. Chomto // Carbohydrate Polymers. - 2017. - № 174. – С. 25-31.
62. Maxwell E.G. Modified sugar beet pectin induces apoptosis of colon cancercells via an interaction with the neutral sugar side-chains / E.G. Maxwell // Carbohydrate Polymers. - 2016. - № 136. – С. 923-929.
63. Popov S.V. Anti-inflammatory activity of low and high methoxylated citrus pectins / S.V. Popov // Biomedicine & Preventive Nutrition. - 2016. - № 3. – С. 59-63.
64. Кисиева М.Т. Извлечение пектина из клубней топинамбура с использованием ферментных препаратов / М.Т. Кисиева // Пятигорск. - 2010. - № 65. – С. 196.
65. Донченко Л.В. Технология пектина и пектинопродуктов / Л.В. Донченко // Москва. ДеЛи. - 2000. – С. 256.
66. Николаева Н.В. Применение углеводов в косметологии / Н.В. Николаева, Н.В. Барышева // Совершенствование методологии познания в целях развития науки.Часть 2. - 2017. – С. 54-57.

67. Ефремов А.А. Комплексная схема переработки отходов растительного сырья / А.А. Ефремов, Г.Г. Первышина // Химия растительного сырья. - 2001. - №4. – С. 123-124.
68. Киреева В.В. Технология комплексной переработки растительного сырья с получением пищевых белковых добавок / В.В. Киреева // Известия вузов. Пищевая технология. - № 5-6. - 2004. – С. 50-52.
69. Будаева В.В. Фундаментальные основы реализации комплексной переработки недревесного растительного сырья в востребованные продукты в технологическом оборудовании малого объёма / В.В. Будаева, И.Н. Павлов, Е.А. Скиба и др. // Ползуновский Вестник. - 2016. - № 2. – С.186-191.
70. Чуешов В.И. Технология лекарств промышленного производства / В.И. Чуешов, Е.В. Гладух, И.В. Сайко и др. // Винница: Нова Книга. - 2014. – С. 696.
71. Чуб О.П. Использование пектиновых полисахаридов вторичного растительного сырья для разработки десертных блюд лечебно-профилактического питания в рамках концепции бережливого производства/ О.П. Чуб, Д.О. Еременко // The Scientific Heritage. - 2019. - № 40. – С. 61-64.
72. Нечаев А.С. Необходимость реализации мероприятий в целях повышения эффективности деятельности инновационно-активных предприятий: электронный научный журнал / А.С. Нечаев, О.В. Антипина // Москва. - 2014. – С. 356.
73. Кан Е.Д. Подходы и методы оценки эффективности деятельности предприятия / Е.Д. Кан // Экономика и бизнес: теория и практика. - 2018. – С. 1-6.
74. Рыжкова Т.В. Теоретические аспекты экономической оценки эффективности деятельности предприятий / Т.В.Рыжкова // Лесной вестник. - 2013. – С. 201-205.
75. Ремез В.А. Рентабельность и прибыль предприятия как одни из важнейших показателей эффективной деятельности предприятия / В.А.Ремез // Российская экономика: взгляд в будущее. - 2017. – С. 234-239.
76. Волкова Е.А. Методы и показатели экономической эффективности сельскохозяйственного производства / Е.А. Волкова, К.С. Чурилова, А.А. Щегорец // Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. - 2017. – С. 12-20.

77. Ильина Т.В. Прибыль и рентабельности предприятия – основные аспекты / Т.В. Ильина // Вестник современных исследований. - 2017. - № 1-2 (4). – С. 41-50.
78. Соболь И.В. Изучение возможности получения пектиновых экстрактов высокой чистоты / И.В. Соболь // Научный журнал КубГАУ. - №123. - 2016. – С.79-89.
79. Филиппович Ю.Б. Практикум по общей биохимии / Ю.Б.Филиппович // Москва. - 1975. – С. 84-87.
80. Плешков Б.П. Практикум по Биохимии растений / Б.П. Плешков // М., Колос. - 1968. – С.183.
81. Будаева В.В. Исследование ферментативного гидролиза отходов переработки злаков / В.В. Будаева, Р.Ю. Митрофанов, В.Н. Золотухин // Ползуновский вестник. - 2008. - № 3. – С. 322-327.
82. Московцева О.М. Влияние янтарной кислоты и ее производных на состояние свободно-радикальных процессов экспериментальных животных / О.М. Московцева // Диссертация на соискание ученой степени кандидата биологических наук. - 2006. – С. 97-98.
83. Фермент для гидролиза некрахмалистых полисахаридов Целлолюкс-А [Электронный ресурс] / - Режим доступа: http://www.sibbio.ru /, свободный.
84. Стрекалова Г.Р. Экономическое обоснование научно-исследовательских дипломных работ: методические указ. для технико-экономических расчетов / Г.Р. Стрекалова, О.В. Газизова, Г.И. Рахимова // Казан. гос. технол. ун-т. - Казань. - 2004. – С. 36.
85. Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин // М., Госхимиздат. - 1960. – С. 784.