

НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК ТАДЖИКИСТАНА

ГНУ «Институт химии имени В. И. Никитина»

АШУРОВ АШУРБОЙ ИЛХОМБОЙЕВИЧ

**АГРЕГИРУЮЩИЕ СВОЙСТВА ИНУЛИНА РАЗЛИЧНОГО
ПРОИСХОЖДЕНИЯ В РАЗБАВЛЕННОМ И
КОНЦЕНТРИРОВАННОМ РАСТВОРАХ**

6D060604 –физическая химия

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание учёной степени доктора Ph.D.

Научный руководитель:

доктор химических наук, профессор
Мухидинов З. К.

Душанбе-2023

Оглавление

ОГЛАВЛЕНИЕ	2
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ	5
ВВЕДЕНИЕ.....	6
ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР	13
1.1. Растительная биомасса – возобновляемый источник для получения биополимеров.....	13
1.2. Полисахариды - биоразлагаемые полимеры, строение и источники их получения	15
1.3. Полисахариды из корнеплодов.....	23
1.4. Инулин	29
1.5. Применения полисахаридов из корневых растений.....	35
1.6. Выводы и постановка задач	45
ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ	48
2.1. Подготовка и характеристики исходных веществ.....	48
2.2. Получения водорастворимого полисахарида.....	49
2.3. Методы получения, очистки и анализ инулина.....	49
2.3.1. Традиционный метод выделения и очистки инулина из растительного сырья	49
2.3.2. Новый метод гидролиз-экстракции инулина (флэш-метод)	51
2.3.3. Очистка инулина.....	51
2.4. Количественные методы анализа инулина.....	52
2.4.1. Методы анализа состава образцов инулина.....	52
А) определение общего количества белка по методу брэдфорда.....	52
Б) анализ красителей на спектрофотометре видимого диапазона	53

С) определение содержание сахара в полисахариде фенол-сернокислым методом.....	53
Д) определение моносахаридного состава	53
2.4.2. Определение минералогического состава инулина высокотехнологичным волнодисперсионным рентгенофлуоресцентным (вдрф) спектрометром s8 tiger.....	54
2.4.3. Методы исследования структуры полисахаридов	55
А) ик-фурье спектроскопия.....	55
Б) определение молекулярной массы и молекулярно-массового распределения инулина эксклюзивной жидкостной хроматографией	55
С) определение молекулярной массы и молекулярно-массового распределения методом турбидиметрии.	56
ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ.....	59
3.1. Полисахариды из корнеклубней эремуруса гиссарского (E.Hissaricus).....	59
3.2. Интенсификация процесса получения полисахаридов из корнеклубней топинамбура (<i>helianthus tuberosus</i>).....	64
3.2.1. Экстрагирование жиро-восковых веществ из корнеклубней топинамбура	66
3.2.2. Экстрагирование полифенольных соединений из корнеклубней топинамбура	68
3.2.3. Экстракция инулина	75
3.3. Характеристика инулина	78
3.3.1. Ик-фурье спектры образцов инулина.....	78
3.3.2. Молекулярная масса и гидродинамические свойства инулина	80
3.3.3. Самоагрегирующие свойства инулина	90

ГЛАВА 4. РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ПОЛИСАХАРИДОВ ИЗ КОРНЕКЛУБНЕЙ РАСТЕНИЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩИХ В ТАДЖИКИСТАНЕ	110
ГЛАВА 5. ВЫВОДЫ.....	121
ЛИТЕРАТУРА	123

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

ММР- молекулярно-массового распределения

ВЭЭЖХ- высокоэффективная эксклюзионная жидкостная хроматография

ТМ- традиционным методам

ФМ- флэш методам

КС- Клеточные стенки

GluMan- глюкоманнан

ФОС- фруктоолигосахариды

СДЛ- систем доставки лекарств

НАНТ- Национальной академии наук Таджикистан

УФ- ультрафильтрационная мембрана

ВДРФ- высокотехнологичном волнодисперсионном
рентгенофлуоресцентном

ЭЖХ- эксклюзионной жидкостной хроматографии

ЖВВ- Жиро-восковые вещества

ПФС- Полифенольные соединения

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы.

В настоящее время внимание учёных направлено на поиск и разработку способов получения природных полимеров (биополимеров) и путей их применения в пищевой, медицинской и фармацевтической отраслях [1-5].

«...Среди биополимеров инулин, в этом аспекте, получил большой интерес, благодаря отличным пребиотическим свойствам. Инулин представляет собой природный аналог инсулина растительного происхождения, запасной полисахарид, присутствующий во многих растениях, таких как корень цикория, пшеница, спаржа, лук, чеснок, клубни георгина и топинамбур» [2]. Инулин представляет собой линейный полидисперсный фруктан (степень полимеризации (СП) – 2–60 и выше), состоящий из молекул фруктозы, связанных β (2→1)-связями с остатками D-глюкозы в конце цепи [1-3].

Уникальные физико-химические свойства инулина позволяют использовать его в пищевой и фармацевтической промышленности. «...Создание функциональных пищевых продуктов на основе инулинсодержащего растительного сырья позволит обеспечить население функциональным питанием диабетического характера. Важным аспектом при создании рецептуры функционального пищевого продукта является точно смоделированный ингредиентный состав с заданными физико-химическими показателями инулина в них [1–4]. Известно о профилактических свойствах инулинсодержащего сырья для больных диабетом II типа, продукты переработки этого сырья способны повысить иммунозащитные свойства организма человека» [4]. Возможно, наиболее полезным свойством инулина с медицинской точки зрения является его присутствие во множестве различных структур молекулярной упаковки (полиморфные или изоформные). Осаждение инулина этанолом даёт β -форму, а в водном растворе при комнатной температуре или ниже он находится в форме α -инулина [1, 2, 63, 2-A, 4-A].

Актуальность темы подтверждается тем, что разработка технологии получения биополимеров из возобновляемых природных источников и создание новых нано- и функциональных материалов на их основе была включена в первостепенные направления научных и научно-технических исследований в Республике Таджикистан на период на 2021-2025 годы. Решение данного вопроса направлено на развитие экономики, обеспечение продовольственной безопасности страны и создание функциональных пищевых продуктов.

Работа проводилась в соответствии с планом НИР Института химии им. В.И. Никитина Национальной академии наук Таджикистана на тему: «Создание носителей лекарственных веществ и пищевых ингредиентов на основе биополимеров» (номер гос. регистрации ГР 0116TJ 00543).

Цель данной работы – исследование свойства макромолекулы инулина, полученного разными методами, механизма их самоорганизации в разбавленном и концентрированном растворах посредством анализа гидродинамических свойств молекулярной массы и молекулярно-массового распределения (ММР).

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

- изолирование инулина из топинамбура сорта «Сарват» и разработка оптимального метода экстракции инулина;
- качественный и количественный анализ микро- и макроэлементов в образце инулина, полученного флеш методом экстракции;
- характеристика инулина, полученного различными методами посредством ИК-Фурье спектроскопии;
- исследование поведения макромолекулы инулина, полученного двумя методами посредством анализа гидродинамических свойств и молекулярной массы в разбавленном растворе;
- исследование ММР инулина и механизма его самоорганизации в разбавленном и концентрированном растворах.

Объекты исследования. Для исследования использовали три образца инулина: инулин А - коммерческий инулин из топинамбура (Chongqing Joywin Natural Products Co Ltd., Китай), инулин В - полученный из корнеклубней топинамбура сорта Сарват, выращенного в Республике Таджикистан, и инулин С - извлеченный водной экстракцией по классической методике из корней цикория, произрастающего в г. Душанбе, Республика Таджикистан.

Методы исследования. В диссертационной работе использованы флэш-метод экстракции полисахарида, ИК-Фурье спектроскопия, высокоэффективная эксклюзионная жидкостная хроматография (ВЭЭЖХ), турбидиметрическое титрование, рентгенофлуоресцентная спектроскопия и другие физико-химические методы анализа.

Научная новизна работы заключается в том, что в ней впервые:

- ✓ получены новые результаты по структурным и молекулярным параметрам инулина из клубней топинамбура;
- ✓ установлено, что инулин, полученный традиционным и флэш методами (ТМ и ФМ) из местного сырья содержит примеси, такие как пектин, остатки белков и аминокислот, фенольные соединения; показано, что образец инулин также богат макро- и микроэлементами К, Mg, Са, Р, Fe и Zn и не содержит тяжёлые металлы;
- ✓ дана оценка ММР образцов инулина методами ВЭЭЖХ и турбидиметрического титрования: на основе интегральных и дифференциальных кривых ММР показано, что у образцов инулина из топинамбура присутствуют 3 макромолекулярные фракции (изоформы), которые в отдельности имеют узкое ММР;
- ✓ выдвигалась гипотеза о структурной реорганизации макромолекулы инулина при экстракции и концентрировании раствора, т.е. склонности к самоорганизации в разбавленном и концентрированном растворах

посредством меж- и внутримолекулярными взаимодействиями, на основе данных ММР и ИК-спектров.

Практическая значимость работы.

Разработан оптимальный способ экстракции инулина из растительного сырья. Показано, что для получения качественного инулина, предназначенного для пищевых и профилактических целей, предпочтительно использовать флэш-метод экстракции, чем традиционный метод за длительное время.

Установлено, что фракции меньшего размера инулина образуют четко определенные супрамолекулярные сборки, в то время как большие фракции собираются в аморфные агрегаты – микрогели. Эти данные будут полезными при разработке и получении материалов в области нанотехнологий и материаловедения.

Показано, что при исследовании взаимодействия макромолекул в концентрированном растворе метод турбидиметрического титрования вполне может дополнить такие дорогостоящие методы определения ММР полимеров, как ВЭЖХ, ультрацентрифугирование, светорассеивание и другие современные методы.

Полученные данные могут быть использованы в качестве научной основы при разработке композиционных материалов и наночастиц на основе инулина. Результаты исследований по разработке нового метода экстракции инулина и анализа физико-химических свойств внесли существенный вклад в физико-химию биополимеров и композиционных материалов на их основе.

Методы оценки молекулярной массы и ММР инулина могут быть включены в программу ВУЗов по профилю «физическая химия биополимеров» при подготовке бакалавров, магистров, аспирантов и PhD докторантов.

Соответствие темы паспорту научной специальности. Основная часть диссертационного исследования соответствует паспорту специальности 6D060600-Химия (физическая химия- 02.00.04): Экспериментальное определение и расчет параметров строения молекул и пространственной структуры веществ; Теория растворов, межмолекулярные и межчастичные взаимодействия; и Физико-химические основы процессов химической технологии.

(высокомолекулярные соединения - 02.00.06): Молекулярная физика полимерных цепей, их конфигурации и конформации, размеры и формы макромолекул, молекулярно-массовое распределение полимеров; исследование молекулярной и надмолекулярной структуры биоорганических полимеров. Выявление специфических факторов, обуславливающих их самоорганизацию; усовершенствование существующих и разработка новых методов изучения строения, физико-химических свойств полимеров в конденсированном состоянии и других свойств, связанных с условиями их эксплуатации; целенаправленная разработка полимерных материалов с новыми функциями и интеллектуальных структур с их применением, обладающих характеристиками, определяющими области их использования в заинтересованных отраслях науки и техники.

Положения, выносимые на защиту:

1. Установление строения биополимерного и минерального состава экстрагированного инулина;
2. Получение новых результатов по структурным и молекулярным параметрам инулина из клубней топинамбура;
3. Оценка молекулярной массы и ММР образцов инулина;
4. Защита гипотезы о структурном формировании инулина в водном растворе, посредством межмолекулярных и внутримолекулярных взаимодействий.

Достоверность полученных результатов подтверждается использованием ряда современных физико-химических методов таких как: ИК-Фурье спектроскопия, ВЭЭЖХ, турбидиметрическое титрование, высокотехнологичный волнодисперсионный рентгенофлуоресцентный (ВДРФ) спектрометр, которые были выполнены на уникальных приборах известных компаний (Perkin Elmer (Швейцария), Waters, Wyatt Technology и HACH (США), и S8 TIGER (Германия).

Апробация работы. Основные результаты работы доложены на: международной конференции “ Роль физики в развитии науки, просвещения и инновации”, посвящ. 80-летию памяти чл.-кооп. НАНТ, доктору физ.мат.наук, профессору Бобоеву Т.Б. Душанбе 2022; III междн. конференции «Развитие химической науки и области их применения», Душанбе, 2021; международной научной конференции, посвящённой 75-летию со дня рождения профессора Е. В. Барковского, Минск, 21 мая 2021; XII национальной конференции с международным участием, Россия, г. Саратов, 17-18 декабря 2020: международной конф. «Биотехнология: Наука и практика». Россия, Ялта, 2019 и 2017; 12-th International Symposium on the Chemistry of Natural Compounds, Сентябрь 7-8, 2017 Ташкент, Узбекистан, республиканской конференции «Роль химии в развитии экономики Узбекистана», Самарканд, 2018); республиканской конференции XI – Ломоносовские чтения, 2021; XVII, XVIII и XIV Нумановские чтения, 2022, 2021 и 2017 гг.

Публикации. По результатам исследования опубликовано 17 научных работ, в том числе 3 статьи в журнале международной ба-зы «Scopus», 4 статьи в журналах из Перечня ВАК РФ И РТ, 6 тезисов докладов в международных конференциях и 4 тезиса до-кладов в республиканских конференциях.

Личный вклад автора заключается в анализе научной литературы, его участие при постановке задач по теме диссертационной работы, в непосредственном проведении экспериментальных работ, обработке, анализе и интерпретации полученных результатов.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 157 страницах машинописного текста, включая 20 рисунка и 16 таблиц. Диссертация состоит из введения, трёх глав, выводов и библиографического списка из 261 наименований.

Ключевые слова: инулин, фазовый состав, агрегация, молекулярная масса, молекулярное массовое распределение, эксклюзионная жидкостная хроматография, ИК-Фурье спектроскопия, турбидиметрическое титрование.

ГЛАВА 1. ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР

1.1. Растительная биомасса – возобновляемый источник для получения биополимеров

Биомасса является шестым по изобилию источником энергии, доступным сегодня, после битуминозных сланцев, урана, угля, нефти и природного газа. По оценкам, биомасса Земли составляет приблизительно $2,4 \times 10^{12}$ тонны. Биомасса является пятым по производительности возобновляемым источником энергии после прямой солнечной, ветровой, водной и геотермальной энергии. Ежегодно на планете образуется примерно 170 миллиардов тонн первичной биомассы и почти столько же уничтожается. Биомасса является крупнейшим возобновляемым ресурсом с точки зрения использования в мировой экономике (более 500 млн. тонн в год). Биомасса используется для производства тепла, электричества, биотоплива и биогаза (метан, водород). Топливная биомасса (до 80%) представляет собой главным образом древесину, которая используется для бытового отопления и приготовления пищи в развивающихся странах [1-4].

Биополимеры (природные полимеры) представляют собой класс полимеров, полученные из растений или животных. Они включают в себя в основном углеводы, белки ДНК и РНК, которые присутствуют в растениях и животных, обеспечивая структурную основу клеточного матрикса. Полимеры, существующие в природе, можно сгруппировать в шесть основных классификаций в зависимости от их источников получения: белки, полисахариды, полинуклеотиды, полиизопрены, полиэферы и лигнин. В

таблице 1.1. приведены основные представители полисахаридов и источники их получения.

Таблица 1.1. - Основные представители полисахаридов и источники их получения.

Источник	Полисахарид
Клеточная стенка растений	Целлюлоза, пектин и гемицеллюлоза
Семена и корни	Галактоманнан, глюкоманнан и галактоглюкоманнан
Водоросли	Каррагинан, альгинаты, агар-агар
Клеточная стенка животных	Гиалуронаты
Покровы и роговые части животных, водоросли и грибов	Хитин
Древесина	Целлюлоза, гемицеллюлоза и лигнин
Шкуры и кости животных, чешуя рыб	Желатин
Бактерии	Ксантан, гиалуроновая кислота, геллан
Грибы	Кардлан, склероглюкан, шизофиллан

Растущие опасения по поводу использования низкокачественных полимерных материалов, особенно в биомедицинской, фармацевтической и пищевой промышленности, заставляют искать новые высококачественные, биоразлагаемые и биосовместимые биополимеры. Съедобные полимеры, которые, Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (GRAS), в целом считает безопасными становятся альтернативными кандидатами и активно исследуются из-за их полезных свойств [1-4]. В пищевой промышленности биополимеры или так называемые пищевые гидроколлоиды применяются как эмульгаторы, стабилизаторы и добавки пищевых продуктов для получения новых продуктов с улучшенными свойствами. В фармацевтической отрасли биополимеры используются как наполнитель традиционных лекарств, основа

для создания систем доставки лекарственных веществ (в виде пленок, микро- и нанокапсул), композиционных пленок для нанесения их на раны и ожоговые поверхности, заменитель жира, а также создание медицинских материалов для тканей, картиладж, сосудов и кишечных эпителий [2-5].

Формирование многофункциональных товаров кормления в основании постных ингредиентов, включающих полисахарид, гарантирует людишек многофункциональным кормлением с диабета. В нынешнем кормлении полисахарид обширно применяется с целью войн вместе с диабетом. Полисахарид предполагает собою высокомолекулярное соединение, складывающийся с некоторых фрагментов фруктозы (10-36) в варианте фуранозы вместе с D-глюкозой в завершении цепочки. Подобное размещение мономеров фруктозы создает полисахарид меньше усваиваемым пептической концепцией лица, и данная модель углеводов никак не увеличивает степень глюкозы в месячные.

Этот полисахарид является вторым по распространенности накопительным гидридом углерода у растений после крахмала и наиболее характерен для представителей семейств Asteraceae и Chrysanthaceae. Инулин является полисахаридом растительного происхождения, хорошо растворимым в воде и не перевариваемым пищеварительными ферментами, что делает его эффективным пребиотиком для человека, поскольку он полностью доступен для микрофлоры кишечника.

1.2. Полисахариды - биоразлагаемые полимеры, строение и источники их получения

Полисахариды - данное весьма трудные и различные макромолекулы, касательно нежели указывает весьма огромное число строений - 19,773 записей в настоящий период - упомянутых в «Банке сведений текстуры углеводов» (<http://csdb.Glycoscience.ru/database/index.html>) [6, 7]. Очень широкое структурное разнообразие объясняется стереохимией углеводов и многочисленными связями между сахарными остатками [8]. В дополнение к

сложности углеводного каркаса полисахариды часто украшены органическими (например, лактат, ацетат, аминокислоты) и неорганическими (например, сульфаты, фосфаты) производными, что ещё больше увеличивает количество возможных структур.

Полисахариды первичной клеточной стенки (КС) представляют собой целлюлозу, гемицеллюлозу, такие как ксилоглюканы, арабиноглюканы, маннаны, галакто- и глюкоманнаны и полимеры глюкуроно- и галактуроновые кислоты. Как эти полисахариды формируются и взаимодействуют между собой в полисахаридном матриксе КС, все ещё остаётся предметом споров. Считается, что гемицеллюлоза покрывает фибриллы целлюлозы, в то время эти фибриллы сшиваются гелеобразным слоем пектиновых полисахаридов и белков [8, 9].

Целлюлоза является волокнистой тканью клеточных стенок растений и образуется полисахаридной целлюлозой. Целлюлоза состоит из длинных цепей единиц глюкозы, каждая единица связана с C4-hidroxiло другой глюкозы β-гликозидными связями, как в диссахаридах. Целлобиоз. Атомы водорода и гидроксильные группы на диаграмме не представлены. (рис.1.1.).

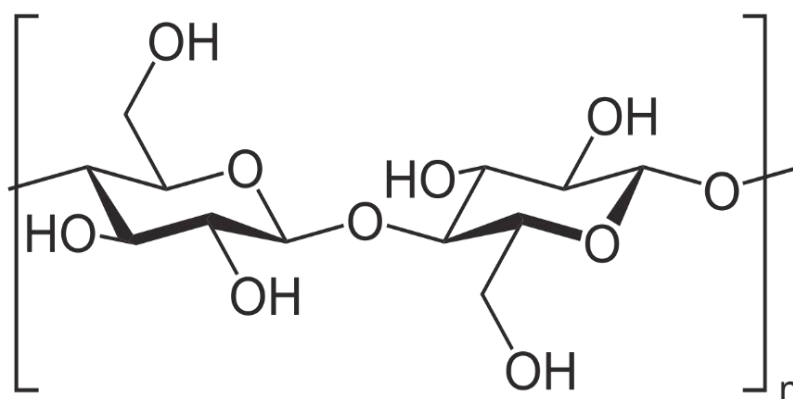


Рисунок 1.1. - Структура повторяющих звеньев глюкозы в макромолекуле целлюлозы.

Действительно, ферментативный гидролиз целлюлозы даёт целлобиозу. Молекулярная масса целлюлозы варьируется в зависимости от источника, от 450 тысяч Да до 10 миллионов [10]. Хлопковая целлюлоза содержит

приблизительно 3000 единиц глюкозы на молекулу. Натуральные волокна хлопка, древесины, льна, конопли и желтой конопли являются целлюлозными волокнами и служат сырьем для текстильной и бумажной промышленности. Помимо использования в качестве натурального волокна и в отраслях промышленности, которые используют древесину в качестве строительного материала, целлюлоза также используется в производстве ацетата целлюлозы. [10] (для изготовления ацетатной пряжи, фотопленки и пластмасс на основе ацетата целлюлозы), эфиров азотной кислоты (порох и целлулоид) и ксантогенат целлюлозы (для изготовления вязкозных волокон).

Целлюлоза является основным компонентом большинства растительных CS, образуя микрофибриллы и придавая прочность клеточной стенке. Эта макромолекула состоит из незамещенных линейных цепей (1,4) - β - D-глюкана, которые могут образовывать нековалентную структуру микрофибрилл на основе обширных меж- и внутримолекулярных водородных связей и гидрофобных взаимодействий. Хотя основной скелет химической структуры целлюлозы в различных растениях, тканях и органах CS по существу идентичен, существует большая гетерогенность в целлюлозе по длине полимерных цепей и степень кристалличности может изменяться [10].

По сравнению с целлюлозой, другие полисахариды (не целлюлозные) в CM растений образуют гелеобразную матрицу с более сложной структурой и резкой гетерогенностью как на тканевом, так и на молекулярном уровнях. По всему растительному царству в формировании матрицы MC участвуют несколько полисахаридов (рисунок 1.2) [11]. Однако различия, наблюдаемые в настоящее время в химии полисахаридов, противоречат разнообразию их эволюционной истории. SC полисахаридная матрица представляет собой химически гетерогенную, но функционально подходящую полисахаридную матрицу, подобную гелю. Другими словами, физико-химические свойства, необходимые для CS полисахаридов, могут быть выявлены с помощью различных химических стратегий. Polissacáridos not celulósicos CS

dicotiledóneas богат полисахаридом пектина и ксилоглюкана, в то время как СС семейства злаковых и грамматических однодольных, типа грамматических важных комерциалментных, содержат относительно низкие уровни polissacáridos pécticos и xiloglucanos и гетероксианос и (1,3; 1,4) - β - D-глюканы высокие [11].

Кристаллическая целлюлоза, полученная из молекулярной целлюлозы, может быть одной из наиболее распространенных нерастворимых в воде полисахаридов, используемых в аналогичных промышленных применениях, таких как эксудатные камеди, поскольку они являются лучшими связующими, загустителями, стабилизаторами для пищевых продуктов и фармацевтики [12].

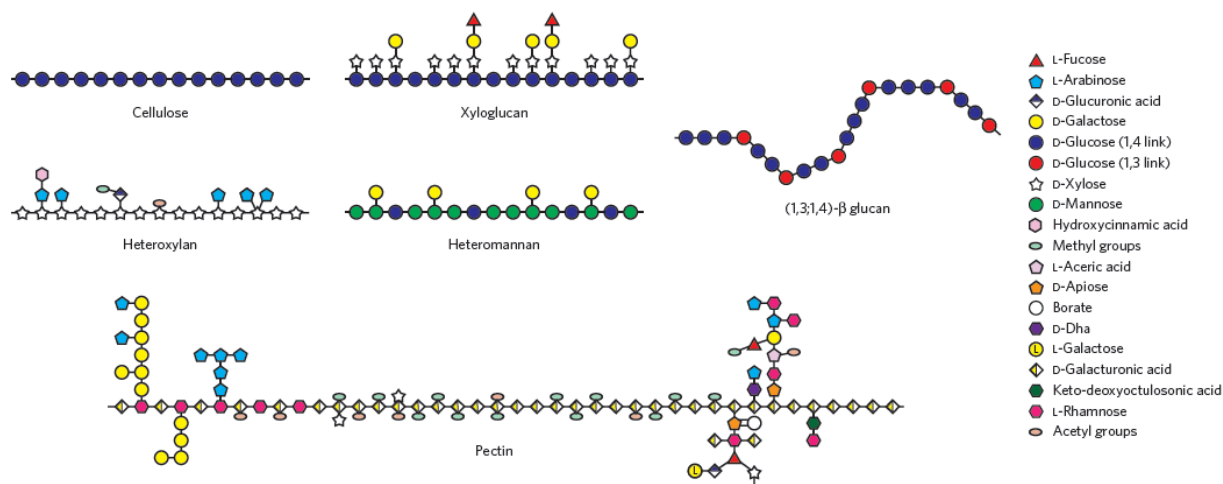


Рисунок 1.2. - Структурная неоднородность полисахаридов КС растений

Основные цепи полимерных цепей целлюлозы, ксилглюкана, (1,3; 1,4) - β -глюкан, гетероксиан и гетероманан состоят из моносахаридов, связанных с (1,4) - β , в то время как основными цепями полисахаридов пектина являются галактуроноановые остатки, связанные с (1,4) - α . В других не целлюлозных СМ полисахаридах непрерывная агрегация целлюлозных цепей встречается редко, главным образом из-за стерического импеданса, вызванного присутствием коротких олигосахаридов, моносахаридов или ацетильных групп. Nos (1,3; 1,4) - β -глюканы, однако неправильная структура

полисахарида препятствует агрегации основных цепей [11].

Крахмал и родственные соединения. Вторым по распространенности полисахаридом является крахмал, который хранится как запас пищи в семенах, корнях и волокнах растений и является потенциальным источником глюкозы. Химический состав крахмала варьируется в зависимости от источника, но в любом крахмале имеется два полисахарида разной структуры. Оба полисахарида образованы целиком из остатков глюкозы. Одна представляет собой линейную структуру и названа как амилоза (рис.1,3), а другая - разветвленную структуру – амилопектин (рис.1.4). Амилозная часть крахмала также состоит из повторяющихся звеньев 1,4-глюкопиранозы, как в целлюлозе, но, в отличие от целлюлозы, глюкозные остатки связаны α связями не β связью. Гидролиз ферментом диастазой (амилазой) приводит к образованию мальтозы. В амилопектине амилозные цепи связаны α -1,6 связями (рис. 1.3.).

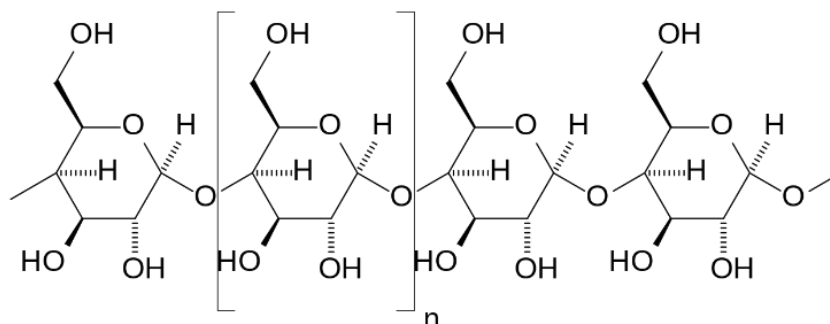


Рисунок 1.3. - Структура амилозы

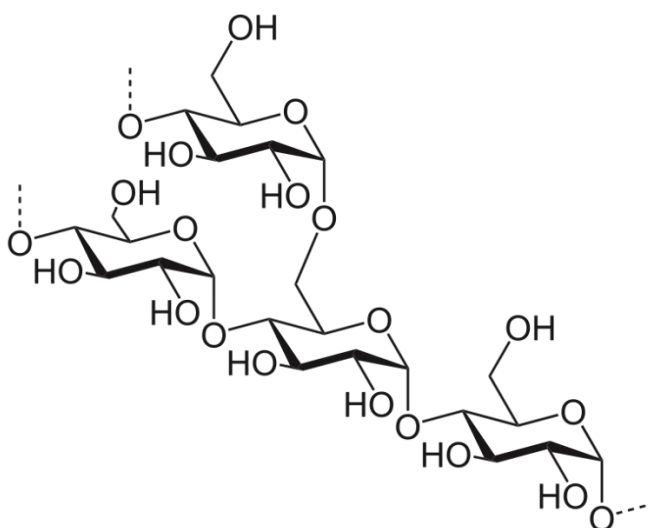


Рисунок 1.4. - Структура амилопектина

«...Животные также хранят глюкозу в виде крахмалоподобных веществ, называемых гликогенами. Эти вещества больше напоминают амилопектин, чем амилозу, поскольку представляют собой разветвленные цепи звеньев глюкозы с α -1,4- и α -1,6-гликозидными связями» [12].

Крахмал используется в текстильной и пищевой промышленности, а также при производстве бумаги. Брожение злакового крахмала является важным источником этанола. Гидролиз крахмала, катализируемый соляной кислотой, дает сиропную смесь глюкозы, мальтозы и высокомолекулярных сахаров. Эта смесь называется декстрином и продается в виде кукурузного сиропа. α -1,6-гликозидные связи в точке разветвления не легко гидролизуются и поэтому не гидролизуются в глюкозу. Фермент также катализирует гидролиз крахмала, а фермент амилаза специфичен для α -1,4 единицы, производя смесь глюкозы, мальтозы и полисахаридов (декстринов), как при кислотном гидролизе. Фермент α -1,6-гликозидаза гидролизует α -1,6 связи в точке ветвления для получения глюкозы [6].

Пектин и альгинаты. Пектин представляет собой сложный набор гетерополисахаридов, молекулярная структура которых может отличаться от источника сырья и метода получения до различных фаз роста растений (рис. 1.5), а во время созревания плодов пектин восстанавливается до пектовой кислоты пектинэстеразой. На сегодняшний день пектины известны как компоненты полисахаридного матрикса клеточных стенок растений, такие как гомогалактуронан, рамногалактуронан-I и рамногалактуронан-II [13]. За исключением рамногалактуронана-II, эти полисахариды не имеют стабильной определенной структуры [14]. В целом основная пектиновая цепь состоит из ядра гомогалактуронана и ядра рамногалактуронана I, последний разветвлён боковыми цепями ксилогалактуронана, арабинана и арабиногалактуронана (ксилогалактуронана, рамногалактуронана I). [15].

Возможные модельные структуры пектиновых полисахаридов

представлены на рис. 1.5: (а) модель «остов рамногалактуронан-I» по Vincken J и др. (2003), демонстрирующие основную цепь рамногалактуронан-I и расположение гомогалактуронан и ксилогалактуронан как боковые цепи, а также боковые цепи из нейтральных полисахаридов (арабинан и арабиногалактан). Ориентация, а также положение боковых цепей на остова рамногалактуронан-I произвольны; (b) «живая» модель, предложенная на основе структурных и макромолекулярных данных, полученных с помощью мягкого кислотного гидролиза и ферментативного гидролиза с использованием двух ферментативных препаратов (полигалактуроназы и рамногалактуроназы), а также с помощью щелочных экстрактов очищенного пектина кожуры пассифлоры съедобной (желтой маракуйи, *Passiflora edulis*) [16].

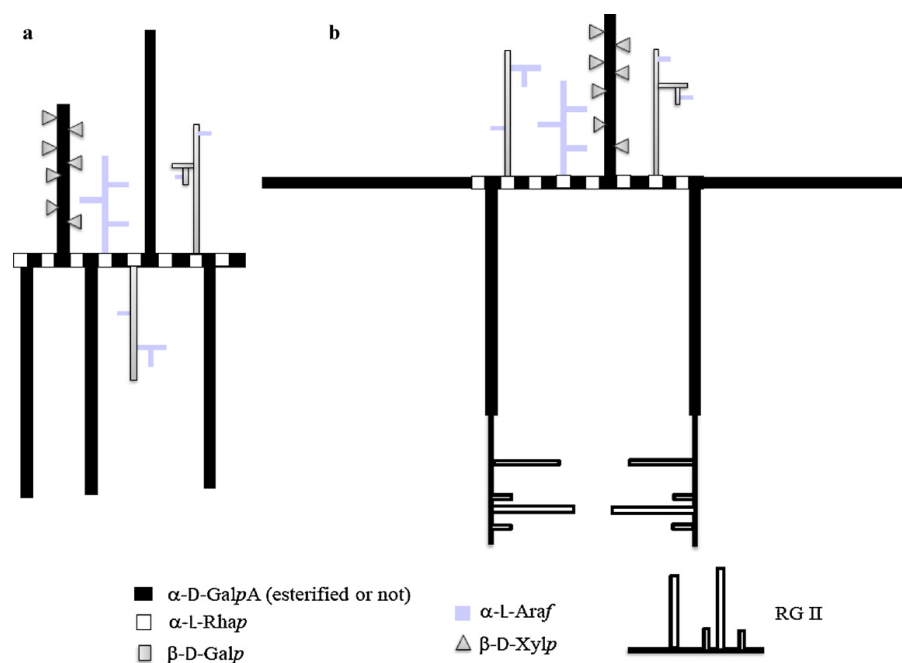


Рисунок 1.5. - Модельная структура пектиновых полисахаридов: (а) модель «остов рамногалактуронан-I» по Vincken J и др. (2003); (b) «живая» модель, предложенная в работе [16]

Другой полисахарид из семейства уроновых кислот - альгинаты которые получают из морских водорослей и камеди деревьев, которые

используются в качестве стабилизатора и эмульгатора в пищевой, фармацевтической, косметической и текстильной промышленности. Если пектины, в основном, представляют собой полисахариды метилового эфира D-галактуроновой кислоты, тогда как альгинаты представляют собой полисахариды, состоящие из различных соотношений D-маннуровой и L-гулуровой кислот [1-3]. Они представляют собой линейные сополимеры с ковалентно связанными (1-4) -связанными гомополимерными блоками α -D-маннуроната и α -L-гулуроната (рис. 1.6).

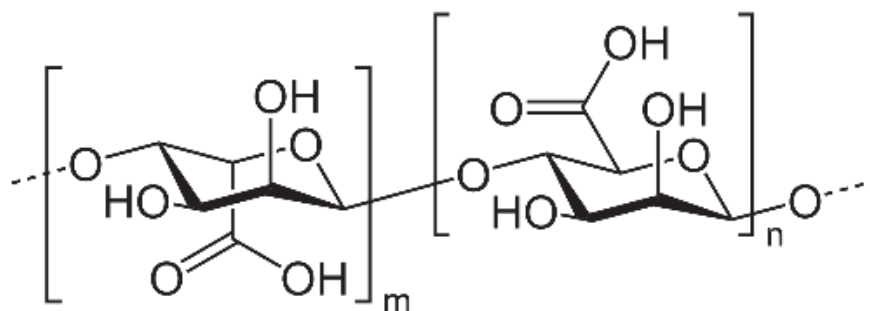


Рисунок 1.6. -Повторяющиеся звенья α -D-маннуровой и α -L-гулуровой кислот в структуре альгиновой кислоты

Экссудаты (камедь) растений. Экссудаты, как правило, представляют собой выделения вязких полисахаридов из деревьев, которые кажутся относительно влажными и липкими при прикосновении и затвердевают при сушке. Это уникальное физическое свойство делает их полезным клеем и связующим для нефтегазовой промышленности [17] и используется в пищевой промышленности в качестве гидроколлоидов из-за их загущающих и стабилизирующих свойств [18]. Камеди также широко используются в качестве желирующих и эмульгирующих агентов в различных областях, а также при нано- и микрокапсулировании активных ингредиентов в фармацевтике [19-21]. В зависимости от их состава и растительных источников некоторые камеди обладают слабым или очень острым запахом и обычно они растворяются в воде в небольших концентрациях. Неудивительно, что некоторые галактоманнанные камеди также обнаруживаются в небольшом количестве в эндосперме семян бобовых, таких как бобы рожкового дерева и гуаровая камедь, соответственно [19-21].

1.3. Полисахариды из корнеплодов

Полисахариды, которые являются запасными веществами в корнях и подземных стеблях (клубнях) (включая крахмал, такие как картофель, маниока / тапиока и крахмал из аррорута), используются в качестве ингредиентов в обработанных пищевых продуктах. Два не крахмальных полисахарида, которые являются запасными веществами, - это конжак глюкоманнан из растений конжака и инулин - два совершенно разных полисахарида [22].

Глюкоманнан. Глюкоманнан (GluMan) содержит остатки маннозы и глюкозы, которые извлекаются из клубней, луковиц, древесины мягких пород, корней и т.д. многих растений [22, 23]. Структурно он состоит из линейной цепи смешанных остатков β -1,4-связанных мономеров D-маннозы и D-глюкозы, расположенных блоками (где повторяющееся звено M-M-G представляет собой-1,4, связанный с D-глюкозой (G) и D-маннозой (M), и основа представляет собой разветвление через-1,6-глюкозильные единицы; Последовательность Ac-M-G представляет собой ацетильные группы, случайно присоединенные в положении C-6 D-маннозной (M))(рис. 1.7) [22]. GluMan из разных источников различается по соотношению маннозы к глюкозе, например, глюкоманнан, экстрагированный из клубней Конжака [22, 24-26], имеет молярное соотношение 1,6: 1 или 1,4: 1 (соотношение различается в зависимости от сорта Конжак), тогда как глюкоманнан, экстрагированный из клубней дикого Конжака и Сосны обыкновенной имеют молярные соотношения 3,6: 1 и 2,1: 1 соответственно [24].

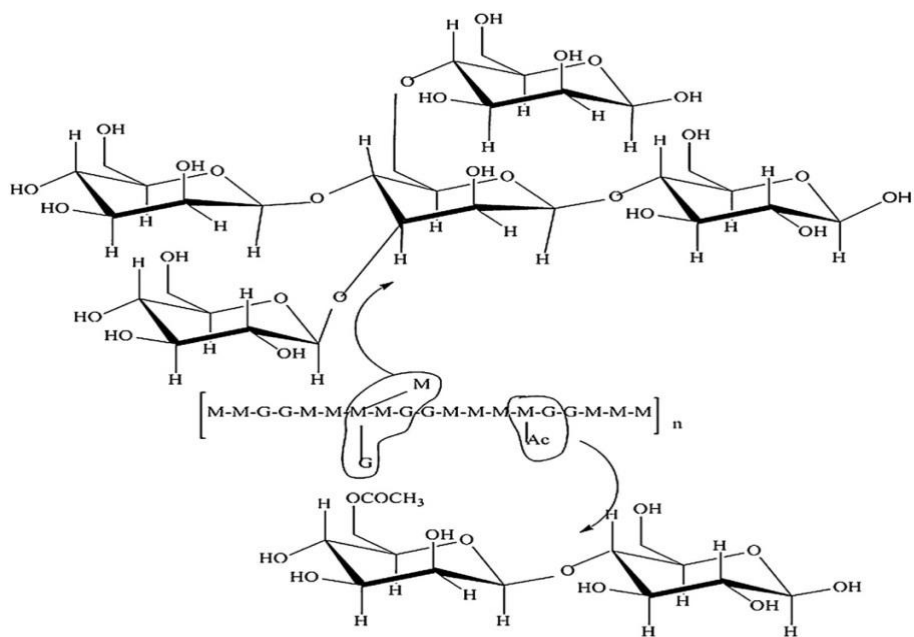


Рисунок. 1.7. - Химическая структура глюкоманнана Конжака (глюкоманнан Конжака) [22, 24].

GluMan из растения Конжак *Amorphophallus konjac* K. Koch (KGM) - водорастворимый полисахарид, выделенный из клубней многолетнего растения, принадлежащего к семейству *Araceae* [25]. Состав этих двух полисахаридов неупорядочен с повторением 3–5 блоков маннозы. Основная цепь имеет разветвление, они приходят на примерно 32 сахарных остатка в цепи с длиной примерно 3-4 сахарных остатка, которые присоединены к C3-маннозы посредством β (1 $\rightarrow$ 3) глюкозидной связи. Ацетилирование (случайно присоединенного в положении C-6) в KGM GluMan увеличивает разнообразие в структуре полисахарида. Обычно значение степени ацетилирования составляет от 5 до 10%, что фактически способствует диспергированию и растворимости за счёт разрыва внутримолекулярных водородных связей. Эта универсальная способность растворимости является привлекательной для фармацевтических применений. KGM веками выращивали в азиатских странах в качестве источника пищи и ингредиента для традиционной китайской медицины. KGM считается не калорийной пищей и одним из основных преимуществ традиционных японских блюд, приготовленных из коньячной муки содержит неперевариваемые пищевые

волокна, роль которых была продемонстрирована в снижении веса, изменение углеводного обмена у диабетиков, и снижение холестерина, эффективна для улучшения усвояемости витамина В-6 [26]. Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) продукты из Конжака считаются одними из «10 лучших здоровых продуктов питания» [27].

Ацетильные группы нативных молекул KGM не позволяют им связываться с самими собой и образовывать гели. Однако при деацетификации природного полисахарида могут образовываться термостойкие гели. Повышение pH дисперсии KGM до pH 9-10 и ее нагревание влияет на деацетификацию. При охлаждении деацетилированного раствора KGM образуется гель, который выдерживает даже температуру автоклава без плавления [28, 29].

В настоящее время KGM стал многообещающим полисахаридом, благодаря отличным свойствам, таким как химическая структура, молекулярная масса, поведение гелеобразования и способность взаимодействовать с другими полимерами при создании систем доставки лекарственных веществ [22, 30-33]. Кроме того, сообщалось, что KGM стимулирует пролиферацию фибробластов и, как ожидается, будет использоваться в качестве повязки для ран [31]. Были разработаны инъекционные гидрогели, обладающие способностью к самовосстановлению, создавая более безопасные и долговечные продукты. Повязки на рану из таких гидрогелей, демонстрировали способность к самовосстановлению, продлевая срок службы материала, они обеспечивали лучшую защиту ран [33].

Исследование методов производства биоматериалов с антибактериальными свойствами в сверхмалых масштабах представляет большой научный и технический интерес. На основе KGM были разработаны антимикробные пленки. Эти пленки были прозрачные, с упорядоченной поверхностной структурой, термостойкие со средней шириной менее 1 мкм. Они продемонстрировали отличную антибактериальную эффективность

(97,1% против *E.coli*, 99,7% против *S. aureus*, 97,3% против *S. enterica* и 99,9% против *B. subtilis*). Кроме того, пленки способствовали заживлению ран с развитой неоваскуляризацией и волосяных фолликулов. Эта стратегия обеспечивает легкий и зеленый путь создания пленок из биоматериалов для медицинского применения [31].

В работе [34] показано, что микрочастицы KGM, полученные распылением раствора биополимера обладают наиболее подходящими характеристиками для обеспечения прямой доставки в легкие комбинации двух противотуберкулезных препаратов первого ряда, изониазида и рифабутина, путем ингаляции. Полученные результаты показывают, что GluMan является подходящим материалом для приготовления ингаляционных микрочастиц в терапии туберкулеза.

Полисахариды из корнеклубней растения Эремуруса (*Eremurus*)

«...Анализ литературы показывает, что многие исследователи занимаются вопросами выделения, очистки и изучением физико-химических свойств полисахаридов у разных видов Эремуруса [35-49]. В странах Средней Азии проводились исследования по выделению и очистке полисахаридов из различных разновидностей Эремуруса- *Eremurus cristatus* [40, 41], *Eremurus lactiflorus* [42], *Eremurus regeli* Vved [43-45], *Eremurus spectabilis* [45], *Eremurus hissaricus* и др» [45-49].

«...Анализ исследований показывает, что полисахариды этих растений представляют основные цепи из глюко- и галактоманнаноэ, фруктозанов и смешанных полимеров. Растение Эремурус (*Eremurus*) растёт на сухих и каменистых склонах и довольно широко распространён, особенно в Южной и Центральной Азии, включая Таджикистан, Иран, Западный Пакистан, Турцию, Палестину, Ливан, Сирию и Кавказ» [36-47]. У этих растений существуют множество гамма цветов от белого до фиолетового, выращивают также и гибридные сорта (рис. 1.8).



Рисунок 1.8. - Растение Эремурус, произрастающий в Республике Таджикистан в период цветения: *E. Spectabilis*, *E. Robustus*, *Eremurus lactiflorus* и гибридный сорт (найден на Памире, 2018 г.).

Структура и характеристики водорастворимых глюко- и галактоманнанов из корней этих растений (*Eremurus*), были приведены в работах [47, 48]. Было обнаружено, что многие из этих полисахаридов являются линейными и частично ацетилированными глюкоманнанами с различным содержанием D-глюкозы, D-маннозы и ацетила: 32,5%, 65,0%, 2,3% (*E. regelii*), 28,8%, 69,0%, 2,2%. (*E. iae*) и 25,6%, 74,4%, ацетильных групп необнаруженных (*E. spectabilis*) соответственно. Структурный анализ (ИК-спектры и ЯМР-спектроскопия) для каждого из них оказались очень похожими, различающимся, в основном, соотношением манноза / глюкоза и имеющим 1,4-связанные мономеры D-маннозы и D-глюкозы, что типично для все GluMan независимо от источника получения [47-49]. Полисахарид найденный в *E. anisopterus*, однако, оказался линейным галактоманнаном, состоящим из повторяющихся звеньев (1 → 6)-β-D-Galp и (1 → 2)- β-D-Manp в соотношении примерно 1: 3,18 [36]. Было обнаружено, что *E.stenophyllous* состоит из D-галактозы, D-маннозы и арабинозы в соотношении 10: 1: 3,2 и на 14% ацетилирован [36].

Галактоманнан представляет собой нейтральный полисахарид, который

действует как источник растворимой пищевой клетчатки и отличается чрезвычайно высокой вязкостью и как фитопрепарат широко исследуется [49].

Другой запасной полисахарид, который может формироваться в корнеклубнях этих растений относится к галактоманнану (Gal Man) [50]. Gal Man также встречается и составе полисахаридов клеточной стенки грибов [51, 69].

В результате предварительного изучения содержания углеводов Эремуруса гиссарского (*Eremurus Hissaricus*) произрастающего в Республике Таджикистан было установлено [45, 8-А], что корни *E. Hissaricus* наиболее богаты олиго - и полисахаридами. Максимальное накопление содержания углеводов наблюдается у целых корней в фазе сентябрьского покоя, т.е. когда у растений завершаются процессы онтогенеза и полное высушивание генеративных и вегетативных надземных органов достигает 63.8%, а минимальное их количество – в фазе бутонизации, и составляют до 40.9% [61].

Биоразлагаемые полимеры из возобновляемых природных ресурсов, такие как полисахариды, белки и липиды, являются основным сырьем для производства материалов, необходимых в фармацевтической, медицинской, пищевой, микробиологической, химической, графической и сельскохозяйственной промышленности, и привлекают внимание исследователей со всего мира в этом направлении.

В работах [51, 52] разработаны композиционные полимерные пленки с использованием водонабухающего глюкоманнана из корнеплодных растений *E. Hissaricus* и гидрофобного полимера зеина, имеющие превосходные плёнообразующие свойства (имеет необходимую гибкость, низкую газопроницаемость, легко очищается от литейной плиты) для хранения и транспортировки пищевых продуктов, в частности, фруктов.

1.4. Инулин

Инулин естественным образом встречается в качестве запасного углевода в тысяча видах растений, включая спаржу, банан, чеснок и лук. Основным коммерческим источником является корень цикория (*Cichorium intybus*), где инулин составляет от 16 % до 18 % от сухого вещества. Его также получают из клубней топинамбура (*Helianthus tuberosus* L.).

В последнее время всё большее внимание уделяется безотходным многоцелевым культурам, которые широко используются в продовольственных, фармацевтических, экологических областях, кормопроизводстве и одним из таких продуктов является топинамбур (*Helianthus tuberosus*). Хотя он известен как культура нескольких тысячелетий, но только сейчас приобретает популярность как сырье для получения функциональной пищи [22, 53-56].

В клубнях топинамбура содержится 14 %-19 % инулина, где 75-80 % углеводов находятся в форме инулина, в то время как в клубнях картофеля имеется такое же количество крахмала [57]. Содержание инулина в корнях одуванчика, пастернаке, овсяном корне, клубнях георгины, луке-порее до 15%, репчатом луке 2-6%, спарже 10-15%, девясиле 9-12%, банане 0,3-0,7%, пшеничной и рисовой муке 1-4% [58]. Наибольшее количество инулина (15-20%) можно получить из таких растительных источников, как цикорий, георгин, топинамбур [59], овощей, фруктов и злаков, включая чеснок, лук-порей, бананы, лук и пшеницу [60]. Генетически модифицированный картофель также является важным источником инулина [61] и продуктом ферментации биомассы [62].

Инулин является биополимером, состоящим из D-фруктозы (содержащий от 10 до 36 мономеров), связанных β (2 $\rightarrow$ 1)-связями с остатками D-глюкозы в конце цепи, связанные с D-фруктозой, с помощью α (1 $\rightarrow$ 2) связей [22, 63-67] (рис. 1.9). Такое расположение фруктозных мономеров делает инулин неперевариваемым в пищеварительной системе

человека и **эта** форма инулина не повышает уровень сахара в крови.

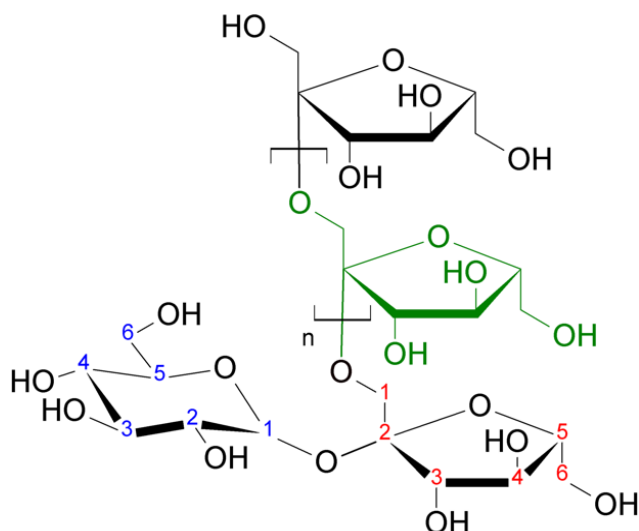


Рисунок 1.9. -Структура инулина.

Рентгеноструктурные исследования показали орторомбическую и псевдогексагональную геометрию для гидратированных и полугидратированных (половина молекулы воды на фруктозильную единицу) молекул инулина соответственно, состоящую из двух антипараллельных шестикратных спиралей. Также была предложена модель, соответствующая пятикратной спирали. В растворе олигомеры инулина показывают одну спиральную конформацию, которая невозможна для более длинной цепи из-за стерических ограничений [68].

При охлаждении горячих растворов инулина с концентрацией более 25% образуются термообратимые гели. Гели инулина всех концентраций и текстур представляют собой гели в виде частиц (особенно после резки). Поскольку гели инулина имеют кремообразную жироподобную консистенцию, инулин можно использовать в качестве заменителя жира [22] в продуктах с низким содержанием жира. Инулин улучшает текстуру и вкусовые качества нежирного мороженого и соусов. Он действует как технологическая добавка в обезжиренной глазури и взбитой начинки и придает более сливочное ощущение во рту картофельным продуктам.

Инулин также входит в состав завтраков, заменителя еды, диетических и спортивных или энергетических батончиков, соевых напитков и овощных котлет.

Возможно, самое полезное свойство инулина с точки зрения фармацевтики - это его свойство проявлять различные молекулярные структуры (полиморфы или изоформы). Инулин, полученный осаждением этанола, представлен β -формой, а водная экстракция при комнатной температуре или ниже даёт α -инулин [65]. Теоретические исследования показывают, что многие формы допустимы [66], также на практике было обнаружено, что как α -, так и β -формы были неустойчивыми [66]. Позже была обнаружена и третья форма инулина (γ), которая не растворима при температуре человеческого тела. Открытие данной формы позволило учёным создать новую вакцину [67]. Новая форма δ -инулина хорошо растворима при температуре менее 75°C и оказалась более эффективным средством для применения в медицинской практике [67].

Инулин не переваривается ферментами ни в желудке, ни в тонком кишечнике. Поэтому его называют растворимой диетической клетчаткой [54] и ее потребление дает положительные свойства растворимой клетчатки (то есть активность против запоров, снижение рН содержимого толстой кишки, а также снижение уровня холестерина и триглицеридов). У него нулевой гликемический индекс, он не повышает уровень глюкозы и инсулина в крови.

Инулин часто намеренно деполимеризуется в фруктоолигосахариды (ФОС), которые также можно назвать инулодекстринами и которые имеют структуры, подобные микробному ФОС, продуцируемому ферментацией [54], с или без глюкозно- / сахарозного звена. Такие продукты как ФОС продаются в виде сиропов или порошков. Типичный углеводный состав выглядит следующим образом:

Углеводы	%
Монсахариды	2 (>95% фруктоза)

Дисахариды	3 (около 10 % сахарозы)
Трисахариды	33
Тетрасахариды	34
Пентасахариды	17
Гексасахариды	9
Гептасахариды	1
Олигосахариды (СП> 7	0.4

Современный образ жизни, снижение иммунитета человека и ухудшение состояния окружающей среды обусловили необходимость повышения качества и безопасности существующих пищевых продуктов и создания новых продуктов с функциональными свойствами. В последние годы, большое внимание исследователей уделяется о пользе фруктанов и ФОС для здоровья человека [1, 4, 68], что в настоящее время они широко практикуются как функциональные продукты. Они не только являются растворимыми пищевыми волокнами с пробиотическим эффектом, но и обладают способностью улучшать всасывание кальция и магния в кишечнике, предотвращать инфекции мочевыводящих путей, снижать риск рака толстой кишки, усиливать метаболизм липидов и замедлять развитие кариеса [68].

Фруктаны также обладают несколькими функциональными свойствами в качестве пищевой добавки. Инулин можно использовать в качестве низкокалорийного заменителя жира, ФОС можно использовать в качестве низкокалорийного подсластителя. Леван самостоятельно собирается в сферические коллоиды с низкой характеристической вязкостью и высокой биосовместимостью [69].

Способность инулина к стабилизации мембран хорошо известна и используется в фармацевтической промышленности для нескольких целей, в том числе для стабилизации терапевтических белков [70,71].

Модифицированный инулин также улучшает медленное растворение плохо растворимых лекарств [70, 72, 73], измерение функции почек [74], модулирует выработку липидов [70], гликемический контроль, как пищевые волокна, пребиотик, лечение запоров [76–78], адъювант вакцины [70, 79] и в лечении рака [80-82]. Модифицированный инулин также использовался для создания систем доставки лекарственных веществ (СДЛ) [83], СДЛ, направленные в толстую кишку [70, 83-86] и легких [85]. В недавнем обзоре [71] приводится подробная информация о нескольких форм СДЛ разработанные на основе инулина.

В странах СНГ разработан ряд продуктов профилактического назначения на основе инулина. Эти продукты не только удовлетворяют потребности организма в питательных веществах и энергии, но и помогают улучшить качество жизни, иммунитет и жизнеспособность. [87].

В фармацевтической промышленности порошок жареных бобов используется в виде пищевых добавок и таблеток для профилактики и лечения различных заболеваний (например, противораковых и противовоспалительных лекарств, диабета, ожирения, заболеваний почек, артрита). В пищевой промышленности порошок жареной фасоли используется в качестве пищевого волокна и в качестве технического ингредиента (заменители жира, стабилизаторы эмульсии, газифицированные продукты и др.) [88-94]. Ввиду терапевтических и профилактических свойств клубней плодовых бобов их применение в молочной промышленности является очень широким. Многие рецепты симбиотических молочных продуктов разработаны с использованием богатого селеном травяного порошка [89]. В настоящее время растет ассортимент других блюд и хлебобулочных изделий с использованием малинового концентрата, включая смеси муки, печенья, кондитерских изделий, макаронных изделий [88-90] и заменителей кофе [91].

Создание функциональных продуктов питания на основе растительных ингредиентов, содержащих инулин, необходимо для обеспечения населения

функциональным питанием от диабета. В современном питании инулин широко используется для борьбы с диабетом. Растущее число истинных диабетиков и связанных с ними сердечно-сосудистых заболеваний обусловило необходимость создания новых продуктов питания для диабетиков. Приоритетным направлением профилактики и лечения больных диабетом II типа является специализированное питание продуктами, отвечающими следующим требованиям [92]: устранение рафинированных углеводов (сахар, мед, варенье и др.). Низкое содержание насыщенных жиров. При этом общее количество потребляемого жира не должно превышать 30-35% от суточных энергетических потребностей. Углеводы должны обеспечивать 50-60% суточного потребления калорий и белка не более 15%. Пациентам рекомендуется употреблять продукты, богатые сложными углеводами и растворимыми волокнами. Перспективным источником функциональных продуктов является жёлтый клубень (*Helianthus tuberosus* L.) [92].

«...Таким образом, из представленных данных литературы можно выделить два источника сырья для производства инулина: топинамбур и цикорий, которые являются ценным сырьем для производства различных функциональных лечебных и профилактических продуктов. Однако, при переработке данного сырья следует учитывать физиолого-биохимические особенности клубней, особенно изменчивость в составе углеводного комплекса и соотношение отдельных молекулярных фракций инулина. Исследования авторов [94] показали, что надземную часть топинамбура целесообразно использовать для производства этанола и кормового белка» [94].

Области применения инулина и других фрукто-олигосахаридов как пребиотика, основы для создания СДЛ и ценного компонента функциональной пищи всё еще расширяется. Недавнее направление применения этих важных компонентов пищи представлены в обзорах [70, 95-99].

1.5. Применения полисахаридов из корнеклубней растений

В качестве пищевых ингредиентов полисахариды, главным образом крахмалы, клеточные полисахариды, пектины и белки, обычно используются в пищевой промышленности благодаря их особым функциональным свойствам, эффективности, безопасности и уважению к окружающей среде. Они использовались для улучшения текстуры пищи, увеличения свежести и срока хранения, производства упаковочных материалов для пищевых продуктов и обеспечения организма лекарственными препаратами и пищевыми ингредиентами (таблица 3.10).

Здесь приводим некоторые примеры области применения полисахаридов, которые на наш взгляд способствуют развивать данное направление в экономику Республики.

Таблица 1.2. -Основные направления применения полисахаридов и продуктов на основе их композиций [1-А]

Компоненты пищи	Свойства	Применение по отраслям	Литературный источник
Полисахариды	Антибактериальное, иммуномодулирующее, противоопухолевое, гипогликемическое, гиполипидемическое, антиоксидантное действие, загущающие, стабилизирующие, гелеобразующие, эмульгирующие свойства и др.	Упаковочные материалы, консерванты, продукты для здоровья, носители пищевых активных ингредиентов, модификаторы текстуры и т. д.	[100–103]
Крахмал	Загущающие,	Ингредиент для студней	[100,104,

	стабилизирующие, гелеобразующие, эмульгирующие, пленкообразующие свойства, водоудерживающая способность и др.	в пищевых продуктах, модификаторы текстуры, биоразлагаемые упаковочные материалы, носители пищевых активных ингредиентов и т. д.	[105]
Белки	Гелеобразующая, водоудерживающая и связывающая, пенообразующая способность, и стабильность, растворимость, эмульгирование и т.д.	Модификаторы текстуры, питательные добавки, мясо на растительной основе, заменители жира, носители пищевых активных ингредиентов, съедобная упаковочная пленка и т. д.	[106,107]
Пектины	Загущающие, стабилизирующие, гелеобразующие, эмульгирующие, пленкообразующие свойства, водо- и маслоудерживающая способность, снижение липидов и холестерина в крови, способность адсорбировать ионы тяжелых металлов и др.	Модификаторы текстуры, съедобная упаковочная пленка, антиоксиданты, заменители жира, профилактические продукты, носители пищевых активных ингредиентов и т. д.	[108,109]
Пищевые	Водоудерживающая, водонабухающая,	Модификаторы	[110,111]

волокна	водоудерживающая, маслоудерживающая, индекс задержки глюкозы, стабилизирующая, гелеобразующая и антиоксидантная способность, и др.	текстуры, антиоксиданты, заменители жира, добавки, повышающие свежесть и срок годности продукта, пищевая упаковка и т. д.	
Инулин	Антибактериальное, иммуномодулирующее, противоопухолевое, гипогликемическое, гиполипидемическое, антиоксидантное действие	Антидиабетические пищевые добавки, продукты для здоровья, носители пищевых активных ингредиентов,	70, 112, 113

В последние годы, особенно, интенсивно растут научные исследования и интенсивное внедрение научных результатов по пищевой и биологическим свойствам полисахаридов. Например, Ли и др. [114] выделили полисахариды из ямса (или батат). Ямс (*Dioscorea spp.*), известный в Китае, как съедобная и лекарственная клубневая культура, исторически использовалась для лечения диабета, диареи, астмы и других заболеваний в традиционной китайской медицине. *Dioscoréa*¹ — род растений семейства Диоскорейных, включающий в себя около 600 видов, распространённых повсюду в тропических областях планеты. Несколько видов диоскорей, известных под собирательным названием «ямс», являются важными сельскохозяйственными культурами в тропических странах, выращиваемыми ради их крупных клубней. Более того, в Китае его на протяжении тысячелетий употребляли в пищу как крахмалистую пищу. Современные

¹ <https://en.wikipedia.org/wiki/Dioscorea>

фитохимические и фармакологические эксперименты доказали, что не крахмальный полисахарид является одним из основных биологически активных веществ ямса. Авторы [115] обнаружили, что молекулярная масса полисахаридов ямса составляет 20,89 кДа, которые в основном состоят из галактозы, глюкозы и галактуроновой кислоты в соотношении 28,57:11,28:37,59.

Кроме того, предварительная обработка полисахаридов батата минимизировала окислительное повреждение клеток IEC-6 под действием H_2O_2 посредством сигнального пути митоген-активируемой протеинкиназы, улучшала жизнеспособность клеток, активность супероксиддисмутазы и снижала выработку внутриклеточных активных форм кислорода и содержание малонового диальдегида. Таким образом, полисахариды батата обладают хорошими защитными действиями против окислительного повреждения, что может служить ориентиром для разработки функциональных пищевых продуктов и клинической терапии против повреждения, вызванного окислительным стрессом.

В последние годы было показано, что несколько природных полисахаридов, выделенных из грибов, таких как *Dictyophora indusiata*, *Sarcodon aspratus*, *Flamuliana velutipes* и *Pleurotus eryngii*, снижают активность системного воспаления, включая воспалительное заболевание кишечника (колит), показали большой потенциал. Ван и др. [116] суммировали основные механизмы, с помощью которых полисахариды влияют на колит, включая иммуномодуляцию, антиоксидантную активность и пробиотическую модуляцию в кишечнике. Кроме того, было обнаружено, что некоторые полисахариды помогают контролировать диабет 2 типа с минимальными побочными эффектами [116].

Фармакотерапия с использованием природных веществ в настоящее время рассматривается как многообещающая альтернатива традиционной терапии. В качестве биологических макромолекул полисахариды, белки и полинуклеотиды представляют собой чрезвычайно важные биополимеры,

играющие важную роль в росте и развитии живых организмов. Полисахариды — важный компонент высших растений, мембран животных клеток и клеточных стенок микробов. Он также тесно связан с физиологическими функциями.

В последнее время все большее внимание уделяется полисахаридам как важному классу биоактивных природных продуктов [100-117]. Многочисленные исследования продемонстрировали биологическую активность природных полисахаридов, в обзорном сообщении [117], были обобщены различные аспекты результатов исследования, биологической активности полисахаридов, включая их разнообразие фармакологических применений, таких как иммунорегуляторная, противоопухолевая, антивирусная, антиоксидантная и гипогликемическая активности, а также применение полисахаридов в лечении заболеваний.

В корнеплодах имеются и крахмалоподобные полисахариды (инулин, глюкоманнан, ксилоталактан и др), так называемые пищевые волокна одним из компонентов функциональной пищи [118], которые обладают потенциальными защитными эффектами для организма человека. Пищевые волокна представляют собой полисахариды, которые не перевариваются и не всасываются в желудочно-кишечный тракт, и признаны питательными веществами седьмой категории обществом пищевых добавок. Улучшение качества и функциональных свойств нерастворимых волокон с помощью физических, химических и биологических подходов является необходимым условием для их широкого использования в пищевой промышленности.

На основании многочисленных исследований [117-119], становится ясно, что пищевые волокна изменяют свои свойства после ферментации. Влияет ли присутствие пищевых волокон на ферментацию других веществ в кишечнике? Ян и др. [118] исследовали влияние четырех пищевых волокон (ФОС, пектин, β -глюкан и арабиноксилан) на модулирование ферментации цианидин-3-О-глюкозида (C3G). «...Результаты показали, что метаболиты

СЗГ после ферментации *in vitro*, в основном, включали цианидин, протокатехиновую кислоту, 2,4,6-тригидроксibenзойную кислоту и 2,4,6-тригидроксibenзальдегид. Пищевые волокна изменили пропорции метаболитов СЗГ. Хорошо известно, что пищевые волокна являются важным компонентом для укрепления здоровья человека и могут регулировать потребляемые калории» [118]. Авторы [119] показали, что нерастворимая клетчатка оака может уменьшить увеличение липидов в крови и нарушение микробиоты кишечника, вызванное богатой жирами диетой. Это открытие предоставляет ценную информацию для будущих приложений в функциональных продуктах питания. Кроме того, пищевые волокна являются отличным переносчиком для защиты биологически активных веществ. Природные полисахариды, обильные пищевые компоненты, проявляют мощную противоопухолевую биологическую активность при лечении и химиопрофилактике рака. По сравнению с традиционной терапией опухолей природные полисахариды характеризуются низкой токсичностью и иммунорегуляторной функцией. Недавние исследования [120] показали, что противоопухолевое действие полисахаридов частично связано с изменением состава кишечной микробиоты при переваривании полисахаридов. Действительно, при онкогенезе сообщалось о микробном дисбиозе или изменении некоторых видов бактерий. Потребление природных полисахаридов может обратить вспять такие изменения, обогащая полезные для здоровья бактерии и метаболиты в кишечнике. В работе [120] обобщены современные знания о противоопухолевой активности полисахаридов и демонстрируется взаимосвязь между бактериями и метаболитами в онкогенезе кишечника и микробного дисбактериоза.

Инулин, который был обнаружен как ФОС, содержится в более чем 36 000 овощей и растений. Топинамбур, лук-порей, овес, лук и чеснок являются обильными источниками инулина, в то время как его коммерчески получают от представителей семейства сложноцветных, такого как цикорий [70, 112, 113].

Кроме того, Управление по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов (FDA), в целом, признало инулин безопасным (GRAS) из-за его несколько выдающихся свойств, включая биоразлагаемость, возобновляемость, нетоксичность и т.д, по сравнению со свойствами многих других полисахаридов [70]. Это непереваренный полисахарид, который классифицируется как пищевая клетчатка, которая не переваривается в тонком кишечнике, но расщепляется (частично или полностью) микробиотой толстого кишечника. Его деградация впоследствии приводит к образованию короткоцепных жирных кислот, которые могут улучшить здоровье человека [121]. За последние несколько лет модифицированный инулин (МИ) привлек значительное внимание исследователей и производителей пищевых продуктов благодаря своим многочисленным свойствам. Целенаправленное высвобождение лекарственных средств остается предметом исследовательского интереса. Кроме того, МИ использовался для стабилизации различных составов дисперсий, поскольку инулин обычно считается безопасным.

Исследования показали, что инулин обладает широким спектром биологической активности, например, в качестве пребиотика для улучшения среды кишечной микробиоты, регулирования уровня сахара в крови, регулирования липидов в крови, антиоксидантов, противораковых средств, иммунной регуляции и так далее [122-124]. В настоящее время инулин широко используется в пищевой и фармацевтической промышленности. Инулин может использоваться как загуститель пищевых продуктов, заменитель жира, подсластитель и влагоудерживающий агент в пищевой промышленности [124].

В фармацевтике инулин применяется в качестве стабилизатора и носителя лекарств, вспомогательного терапевтического средства при некоторых заболеваниях, таких как колит и сахарный диабет [122, 123].

Употребление инулина людьми, так и животными признано из-за его пребиотического действия с наиболее последовательным изменением,

закключающимся в усилении роста и функциональности бактерий *Bifidobacterium*, а также его влияния на экспрессию генов хозяина и процесса метаболизма. Симбиоз кишечника, поддерживаемый добавками инулина, наряду с другими пищевыми волокнами, обеспечивает профилактические и/или терапевтические возможности для многих метаболических нарушений, включая ожирение, сахарный диабет 2 типа, кардиометаболические заболевания, заболевания почек и гиперурикемию. Сообщалось о негативных желудочно-кишечных эффектах после потребления инулина, таких как желудочно-кишечные симптомы у людей и обострение воспалительного заболевания кишечника у мышей [123].

Авторы [124] продемонстрировали, что инулин, особенно высокомолекулярный, является эффективной добавкой для улучшения характеристик геля сурими². Инулин с высокой растворимостью может быть равномерно распределен внутри гелей сурими, которые могут не только запирают молекулы воды, чтобы уменьшить их подвижность, но и увеличивать общую вязкость гелей, тем самым физически укрепляя гелевую сеть. Длинные молекулярные цепи инулина конкурируют с молекулами воды из-за взаимодействия с молекулами миозина, что приводит к воздействию большего количества гидрофобных групп и сульфгидрильных групп для усиления химических сил, одновременно способствуя благоприятному конформационному преобразованию белка из α -спирали в β -структуру для лучшего гелеобразования, что способствовало формированию более компактной трехмерной сетчатой структуры геля с равномерно распределенными мелкими порами. Сурими же, как и мышечные белки других видов животных, а также яичный белок, пшеничный глютен и молочный β -лактоглобулин, при нагревании образует термонеобратимый гель, не плавящийся при дальнейшем изменении температуры.

² Сурими, отбитое и мелко изрубленное мясо) — японское блюдо, готовится обычно из белой рыбы Самый распространенный продукт из сурими — крабовые палочки.

Из-за неизбежных привычек человечества пластик является серьезной глобальной проблемой. Учитывая статистику Индии по отходам за 2019-2020 годы, данные из 60 крупных городов показывают, что пластиковые отходы образуются на уровне около 26 000 тонн в сутки, из которых только около 60% перерабатывается [125]. Большинство пластиковых отходов, которые не перерабатываются, являются нефтехимическими упаковочными материалами, которые по своей сути не являются биоразлагаемыми. [125]. Действительно, ожидается, что к 2025 году количество полимерных остатков в океане увеличится до 150 миллионов тонн [126], а биоразлагаемые материалы позволят сократить выбросы углерода на 250-300 миллионов тонн в год [127].

Еще одной глобальной проблемой являются растительные/пищевые отходы, о чем свидетельствуют такие густонаселенные страны, как Китай и Индия, на долю которых в 2019 году пришлось соответственно 91 и 69 тонн пищевых отходов. Решение проблемы пластиковой упаковки привело к важным научным разработкам, одним из которых являются биоразлагаемые материалы.

В связи с этим было разработано множество типов природных полимеров (или биополимеров) для удовлетворения потребностей постоянно расширяющихся областей применения упаковочных материалов. Эти биополимеры в настоящее время используются в пищевой промышленности и расширяют свое применение в фармацевтической и медицинской промышленности благодаря своим уникальным свойствам [128]. Биоразлагаемые пленки на основе биополимеров и пластификаторов могут выступать в роли первичного контейнера и даже выступать в роли биоактивного контейнера при введении некоторых антиоксидантных и антимикробных компонентов или экстрактов, обладающих функциональной активностью. Первоначальное представление о механических и барьерных свойствах являются основными критериями к применению [129]. Согласно базе данных Scopus [130], исследования биоразлагаемых пленок, за

последнее десятилетие, в среднем ежегодно увеличивались на 13%, в 2021 увеличении количества публикаций вырос на 24%, а 2022 году достиг около 11,5 тысячи публикаций в году, что свидетельствует об успешном применении научных результатов в данном направлении.

Кроме того, биополимеры стали включать в составе других пленкообразующих смесей для упаковки пищевых продуктов с использованием поли(3-гидроксibuтират-со-4-гидроксibuтирата) (РЗНВ-4НВ), биоразлагаемого алифатического полиэфира, полученного микробным путем, для замены не разлагаемых упаковочных пленок. Поли(бутиленсукцинат) (PBS) и поли(бутиленадипат-ко-терефталат) (PBAT) представляют собой биоразлагаемые полимеры, применяемые в качестве альтернативы синтетическим пластикам. Они имеют достаточные механические свойства для использования в промышленных масштабах, но ограничивающим фактором остается их высокая стоимость [131]. Использование термопластичного крахмала (TPS) и других биополимеров [132] в качестве основного компонента матрицы является альтернативой производству недорогих материалов.

Согласно опубликованным исследованиям [133], полисахариды являются наиболее широко используемыми материалами для создания биоразлагаемых пленок благодаря их доступности, разнообразию источников, простым условиям экстракции и функциональным свойствам.

Биоразлагаемой пленкой считается первичная упаковка из биоразлагаемых полимеров, в частности полисахаридов, имеющая преимущества перед синтетической упаковкой [134], она может сохранять качество и продлевать срок годности продуктов с минимальной обработкой [133-136] без повреждения или изменения окружающей среды [136].

Однако биоразлагаемая пленка остается привлекательной областью в качестве упаковки на основе синтетических или гибридных материалов (смеси синтетических и биоразлагаемых материалов) продолжает лидировать на рынке [125, 128, 129, 136], хотя некоторые полисахаридные пленки

продаются. Для дальнейших исследований и разработок на основе новых материалов.

Кроме перечисленных полезных свойств полисахаридов, растительные остатки после их переработки являются потенциальными сырьевыми источниками сахаров и биоэтанола. Различные виды сырья, обогащенного инулином, такие как цикорий, спаржа, топинамбур, георгин, агава текилана и т.д., широко исследуются для производства биотоплива [40] и т. д. Среди них топинамбур является потенциальным источником инулина и других полисахаридов и он широко используется для производства биотоплива. Топинамбур считается оптимистичной культурой будущего в Европе, Китае и Новой Зеландии. Инулин составляет >80% от общего количества углеводов, присутствующих в пересчете на сырой вес клубней топинамбура. Повсеместная доступность топинамбура как в тропических, так и в странах с умеренным климатом по всему миру, высокая устойчивость к вредителям и засухе, а также повышенная переработка при высоких температурах в прозрачном растворе делают его мощным субстратом для производства биотоплива.

1.6. Выводы и постановка задач

Из анализа всех приведённых литературных источников (99) можно выделить два основных направления в области исследования: (а) разработка новых и интенсификация традиционных методов экстракции олиго- и полисахаридов [3-5, 6-18, 23-29, 44-52] и поиск направлений их использования в пищевой и фармацевтических отраслях экономики республики.

За последние несколько десятилетий полисахариды привлекли к себе все большее внимание в области биомедицины и СДЛ [1-5, 19-22, 30-35, 53-99]. Среди них инулин и полимеры на основе глюкозы, галактозы и маннозы GalGluMan, присутствующие в большом количестве в корнеклубнях многих растений, стали особенно привлекательными полимерами [1-5, 22, 53-99].

Анализ опубликованных материалов об использовании корневых клубней в диетическом и диабетическом питании свидетельствует о растущем интересе к этому сырьевому ресурсу. С высоким содержанием инулина и пектина, его уникальным составом в углеводах, его функциональной активностью и низкой калорийностью клубни корня водного каштана и цикория хорошо вписываются в современную концепцию здорового питания. Учитывая высокую питательную и биологическую ценность этих инулиновых сырьевых материалов, возможность производства функциональных натуральных пищевых продуктов на их основе и потребность общественности, желательно разработать технологии производства продуктов для диабетиков и больных диабетом. люди, страдающие гипертонией [2, 3, 28, 72-99].

В последние годы, исследование о пользе фруктанов и функциональные продукты на их основе для здоровья человека неуклонно растет. Они не только являются растворимыми пищевыми волокнами с пробиотическим эффектом, но и обладают способностью улучшать всасывание кальция и магния в кишечнике, предотвращать инфекции мочевыводящих путей, снижать риск рака толстой кишки, усиливать метаболизм липидов и замедлять развитие кариеса [68]. Фруктаны также обладают несколькими функциональными свойствами в качестве пищевой добавки. Инулин и ФОС можно использовать в качестве низкокалорийного заменителя жира, и подсластителя [69].

Вследствие этих новых потенциальных направлений применения биополимеров количество публикаций, посвященных использованию полисахаридов для медицины и фармацевтической отрасли, за последние 10 лет значительно увеличилось [4,7,22,33,45,46,47,51,52,69-73, 83-86, 95-99].

Предыдущие обзоры [60, 64] освещали некоторые физико-химические свойства и фармацевтическое применение инулина. Из широкого круга исследованных, к настоящему времени, полимеров для производства функциональной пищи и активных покрытий наибольший интерес вызывают

биополимеры пектина, глюкоманнана и инулина. Это доступные биodeградируемые нетоксичные биополимеры с возобновляемым сырьевым ресурсом, применяющиеся в пищевой и фармацевтической промышленности.

В связи с этим, особый интерес представляло проведение работ по изучению количественного состава полисахаридов, из местных сырьевых источников и исследование их физико-химических и потребительских свойств с целью создания профилактических продуктов и биоразлагаемых материалов.

В Институте химии им. В.И. Никитина НАНТ совместно с американскими учёными из Восточного регионального научного центра госдепартамента США по сельскому хозяйству проводились работы, посвящённые исследованию технологии получения полисахаридов из корнеклубней растений Эремуруса, произрастающего в предгорных районах (1000-2000м над уровнем моря) [45, 46,47] и изучению тонкой структуры, что легло в основу данной работы.

Развитие научных исследований и прикладных разработок по производству профилактических пищевых продуктов, съедобных плёнок и покрытий на основе этих доступных биополимеров, особенно инулина, является перспективным направлением для решения новых задач в национальной продовольственной программе Республики Таджикистан.

ГЛАВА 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

2.1. Подготовка и характеристики исходных веществ

На каждом из ежегодных этапов роста растений свежие корнеклубни (Топинамбура и Цикория) собирали на биолого-исследовательской станции Центра инновационного развития и новых технологий Национальной академии наук Таджикистан (НАНТ) и на территории Института химии НАНТ. Они были взвешены и проанализированы, чтобы оценить динамику накопления и распределения полисахарида на каждой стадии. Корни, собранные в конце сентября, использовали для экстракции полисахаридов, описанных в этом исследовании. Высушенные корни измельчают до тех пор, пока они не станут пылью (при 4000 об/мин) с использованием лабораторной мельницы (Retsch GM 200, Германия). Высушенный порошок затем кипятят с обратным холодильником в экстракторе Сокслета для удаления жирных восковых веществ в соответствии с процедурой [7-А].

Выделение олиго- и полисахаридов проводили по методике, описанной в работе [47, 3-А].

2.2. Получения водорастворимого полисахарида

Неупорядоченный порошок из клубней корня растения, собранный во время летнего покоя, экстрагировали водой и кислотой с получением водорастворимых полисахаридов (инулина) и кислоторастворимых полисахаридов (пектина). Водный экстракт получали добавлением 150 мл горячей десионизированной воды к 30 г трудного порошка в течение одного дня при постоянном перемешивании. После фильтрации через двойной слой нейлонового материала остаток смешивали с еще 100 мл горячей воды и снова перемешивали в магнитном шейкере в течение 4 часов. Затем он фильтруется через двойной слой нейлоновой ткани. Экстракты объединяли, осаждали 96% этанолом и разделяли центрифугированием. Осадок дважды промывали этанолом при 96% -ной концентрации. Растворимые в воде полисахариды были сухими, и выход был определен в 26,33%. Этот образец использовали для последующего анализа. Остаток после начальной экстракции гидролизуют соляной кислотой при pH 2,0 путем быстрой экстракции в автоклаве [7-А]. Фракции полисахаридов, нейтральных сахаров и микрогелей получали из гидролизованного раствора диафильтрацией, с последующим осаждением 96% этанолом и центрифугированием, а затем подвергали ионообменной хроматографии для выделения основных полисахаридов в соответствии со способами, ранее описанными нашей лабораторией. Команда [47].

2.3. Методы получения, очистки и анализ инулина

2.3.1. Традиционный метод выделения и очистки инулина из растительного сырья

Инулин экстрагировали из массы корня растения с содержанием воды 76% традиционным методом. (ТМ) водную экстракцию при 75 ° C в течение 60 мин. По традиционному способу [24, 103] получают полисахариды инулина смешиванием измельченных сухих клубней и горячей воды в соотношении 1:6, выдержкой при 70 ° C в течение 12 ч и экстракцией при 80

° С. Водный экстракт отделяют. Экстракты объединяют в течение еще 30 минут и экстрагируют три раза водой 1:10. Очистку водных экстрактов сока, багажа или высушенных клубней, разбавленных 1:1 водой, проводят карбонатом кальция при температуре 85 ° С или 80 ° С в течение 60 минут для сока и сока или сухих клубней, соответственно. Сок фильтруют и отфильтрованный выпаривают. Неочищенный инулин кристаллизуют из водного экстракта или разбавленного сока после добавления 1:1 спирта в течение 5 дней при 4 ° С в холодильнике [24, 103].

В данной работе образцы инулина для исследования получали следующим образом: 120 г сухой образец топинамбура заливали 1200 мл воды и перемешивали в течение 30 мин. Затем смесь нагревали в течение 1 часа и полученный раствор фильтровали через плотный лавсан. Остаток растительной массы после первого экстракта еще раз обработали 1200 мл водой в течение часа, как и прежде и фильтровали. Остатки растительной массы сушили при температуре 60 °С и обезводили при 120 °С. Масса растворимых веществ и остатка составили 73.6 г. (78 %) и 26.40 г (22 %.) от исходной массы корнеклубней растений.

Общий объём водного экстракта (фильтраты) топинамбура составил 2080 мл. Фильтраты водного раствора разделили на части:

Первую часть (500 мл) концентрировали на роторном испарителе при остаточном давлении, созданной водоструйным насосом до начала образования отсадка. Раствор охлаждали в холодильнике. Полученный осадок сушили. Выход инулина-1 составил 4.6729 г или 16,2 % от исходной массы топинамбура.

Вторую часть (300 мл) был концентрирован на ультрафильтрационной мембране (УФ) УМП-50 (г. Владимир, РФ) до минимального объема 100 мл, с целью разделения полисахаридов: высокомолекулярных (пектин) и низкомолекулярных (инулин). Таким образом, Инулин-3 получили из концентрированного раствора после концентрирования на ультрафильтрационной мембране (УФ) УМП-50.

Оставшиеся 1280 мл оставили в холодильник. Через день образовался осадок массой 9.337 г. или 10.24 % (Инулин-2) от исходной массы топинамбура.

2.3.2. Новый метод гидролиз-экстракции инулина (флэш-метод)

Инулин был экстрагирован из корнеклубней топинамбура, влажностью 76 % флэш-методом (ФМ) в автоклаве при 95 °С и 105 °С в течение 7 мин [2-А]. Экстракт был охлажден контейнерами из льда. Раствор центрифугировали при 5000 об/мин. Далее из раствора гидролизата осаждением этиловым спиртом в соотношении 2:1 выделяли высокомолекулярный полисахарид (пектин), а из оставшегося раствора охлаждением при температуре ниже 10 °С получали инулин.

2.3.3. Очистка инулина

Мембранная очистка инулина. Наряду с методом осаждения для получения инулина был использован метод диа- и ультрафильтрации с помощью мембраны УПМ-50 на лабораторной ячейке при давлении 0.16 МПа, с последующей лиофилизацией очищенных растворов инулина. Инулин промывали холодной водой при температуре 4-6 °С и высушивали при температуре 40-60 °С.

а) Депротеинизация и обесцвечивание

600 мл каждого раствора полисахарида переносят в декантационную ампулу и 1800 мл смеси 4:1 CHCl_3 :n-BaOH, как описано в способе Севажа [138], не защищают. После интенсивного перемешивания воронки в течение 5 минут смесь оставляют в покое на 15 минут для достижения баланса и разделения фаз. Белковую фракцию в растворе полисахарида экстрагировали из нижнего слоя (органическая фаза). Эту процедуру повторяли три раза. Полисахариды извлекают из водного раствора, используя втрое больший объем этанола. После фильтрации осадок промывали безводным этанолом и

диэтиловым эфиром соответственно и сушили до достижения остаточного содержания влаги 10% [138].

б) Фракционирование полисахарида с помощью анионообменной хроматографии

«...Образец очищенного полисахарида в количестве 200 мг повторно растворяли в 20 мл деионизированной воды и расфракционировали с помощью анионообменной хроматографии. Колонку (хроматографические колонки Bio-Rad Econo-Column®, 2,5 × 50 см # 7372551) с адсорбентом марки диэтиламиноэтил целлюлозы (ДАЭЦ -DEAE Sepharose Fastflow, Sigma GE17-0709-01, США) уравнивали дистиллированной водой, а затем последовательно элюировали дистиллированной водой и растворами NaCl с увеличивающейся ионной силы (0,1, 0,3, 0,5, 0,7 и 2М) со скоростью потока 5 мл / мин. Элюенты собирали в пробирку на 10 мл, а затем разделившиеся фракции (отдельный пик) объединяли и концентрировали для получения основных фракций ультрафильтрацией с использованием мембраны (Millipore) с пропускающей способности по молекулярным весам (MWCO) 10 кДа» [47]. Общее содержание сахара в фракциях полисахарида определяли фенол-сернокислотным методом.

2.4. Количественные методы анализа инулина

2.4.1. Методы анализа состава образцов инулина

а) Определение общего количества белка по методу Брэдфорда

Общее содержание белка в каждом экстракте (элюате) определяли классическим методом Брэдфорда [139] и калибровали с помощью образцов сывороточного альбумина от 1 до 10 мкг/мл. Поглощение измеряли при длине волны 595 нм. Поскольку комплекс краситель-белок стабилен в течение до 60 минут, значения абсорбции регистрировали до этого предела времени с интервалами в 10 минут. Концентрацию белка в образце рассчитывали путем сравнения значения абсорбции (A₅₉₅) со значением A стандартного раствора [139].

б) Анализ красителей на спектрофотометре видимого диапазона [59].

Для расчета степени обесцвечивания исходные и очищенные растворы полисахаридов измеряли по оптической плотности при 450 нм в видимой области спектра с помощью спектрофотометра. Длину волны детектирования (450 нм) определяли путем сканирования всего диапазона длин волн [59].

с) Определение содержание сахара в полисахариде фенол-сернокислым методом

Общее содержание сахара в каждой полисахаридной фракции определяли модифицированным фенолсульфокислотным методом [140]. Раствор полисахарида (0,5 мл) и 5% раствор фенола (вес/объем 0,5 мл) помещают в герметичную пробирку, в которую быстро добавляют 2,5 мл концентрированной серной кислоты. Пробирку закрывали, встряхивали встряхивателем в течение 5 с и кипятили на водяной бане в течение 15 мин. Пробирки охлаждали до комнатной температуры и измеряли значения оптической плотности при 480 и 490 нм. Вместо раствора полисахарида в качестве чистого теста использовали дистиллированную воду. Общее количество сахара в полисахариде рассчитывали по стандартным кривым, полученным для глюкозы, полученной с использованием ряда концентраций 20, 40, 60, 80 и 100 мкг/мл [140].

д) Определение моносахаридного состава

Анализ моносахаридного состава полисахаридов проводили высокоэффективной анионообменной хроматографией (HPLC-PAD) с детектором импульсного тока после метанолиза с небольшими модификациями методики, описанной в [141]. Систему ВЭЖХ использовали с детектором Dionex ICS-3000 PAD (Dionex Corp, Sunnyvale, CA), включая колонку CarboPac PA-20 и колонку Guard Guard со скоростью потока, фиксированной на уровне 0,5 мл/мин. Нейтральные и кислотные

моносахариды разделяли, используя подвижную фазу NaOH 1 мМ, прокачиваемую при однородной концентрации хроматографическим насосом высокого давления в течение 15 минут, с последующим добавлением буфера ацетата натрия 0-130 мМ (CH₃COONa) в NaOH 100 мМ в течение 30 минут. Колонку элюировали CH₃COONa 1,0 М в течение 0,8 мин, после чего подвижная фаза возвращалась в раствор NaOH 1 мМ в течение 30 мин перед инъекцией следующего образца [141].

2.4.2. Определение минералогического состава инулина высокотехнологичным волнодисперсионным рентгенофлуоресцентным (ВДРФ) спектрометром S8 TIGER

«...Минералогический состав инулина определяли на высокотехнологичном волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном (ВДРФ) спектрометре S8 TIGER (Германия) [4-А]. Подготовки проб для ВДРФ осуществляется методом сплавления смеси пробы с флюсом при высокой температуре (от 800 до 1200°С), флюс при этом расплавляется, и происходит растворение пробы. Растворение и разложение части пробы с помощью флюса (плавня) и получение однородного стекла полностью нивелирует эффекты, связанные с размером частиц и неоднородностью пробы. Метод сплавления имеет ряд преимуществ, позволяет: а) разбавления пробы для уменьшения матричных эффектов; б) вводить дополнительные вещества типа поглотителей или внутренних стандартов для уменьшения или компенсации матричных эффектов; в) возможность подготовки стандартных образцов требуемого состава.

Подготовка проб для спектрометра S8 TIGER по получению сплавленных дисков, согласно программе Geo-Quant, включает следующие шаги: определение потери массы - потери при прокаливании (ППП) и добавление флюса в исследуемый образец. Флюс состоит из 3.14 г тетрабората лития (Li₂B₄O₇) и 3.14 г метабората лития (LiBO₂)» [4-А].

2.4.3. Методы исследования структуры полисахаридов

а) ИК-Фурье спектроскопия

Образцы полисахаридов сушили при 110 ° C в течение 30 минут перед анализом. Спектры FT-IR образцов инулина, полученные тремя способами, были получены в сухом состоянии с использованием аксессуара для полного ослабленного отражения (MIRACLE) с кристаллами ZnSe в приборе Spectrum 65 FT-IR (Perkin Elmer, Швейцария) [3-A]. Контроль давления обеспечивал хороший контакт между образцом и кристаллом. Фоновые спектры получали в воздухе. Спектры FT-IR образцов инулина анализировали с использованием программы KownitAll (BioRad, США) и сравнивали частоты полос поглощения соответствующих связей с известными данными в литературе [3-A].

б) Определение молекулярной массы и молекулярно-массового распределения инулина эксклюзивной жидкостной хроматографией [47,106]

Для определения молекулярной массы и молекулярно-массового распределения полисахаридов их растворы (2-5,0 мг/мл) готовили в жидкой фазе встряхиванием при комнатной температуре (20 ° C) в течение 12 часов. Подвижная фаза состояла из NaNO₃ 50 mM (pH ~ 6,50), содержащей 0,01% NaN₃. Раствор фильтровали через 0,45 мкм фильтр (Millex HV, PVDF, Millipore Corp., Billerica, MA) в шприце и затем вводили в высокопроизводительную жидкостную хроматографическую систему, исключая HPLC (серии 1200, Agilent Technologies, Santa Clara California). Система распределения растворителя состояла из вакуумного выключателя, автоматического пробоотборника и насоса высокого давления. Объем инъекции образца составлял 200 мкл, и скорость потока поддерживалась на уровне 0,7 мл/мин. Образцы инъецировали три раза и среднюю полидисперсность (M_w/M_n, M_z/M_n), среднюю молярную массу числовую [47, 106].

«...Разделительные колонки состояли из набора трёх эксклюзивных колонок моделей TSK-GEL® PWXL (7,8 x 300 мм, размер частиц 13 мкм, Tosoh Bioscience, Токио, Япония), две защитные колонки (TSK-GEL® PWXL 6,0мм IDx4,0 см L, 12 мкм, Tosoh Bioscience, Токио, Япония). Температуру колонок поддерживали при 35°C и они последовательно были подключены к основным детекторам системы ВЭЖХ: спектрофотометру UV-1260 Infinity (Agilent Technologies, Санта-Клара, Калифорния), фотометру HELEOS II для многоуглового лазерного рассеяния света (LS) (Wyatt Technology, Santa Barbara, CA), дифференциальному вискозиметру модели 255-V2 (DP) (Wyatt) и детектору показателем преломления (RI) Optilab rEX-495 (Wyatt)» [141].

«...ЭЖХ колонки калибровались с помощью пуллулана P-50 (Shodex STANDARD P-82, JM Science, Гранд-Айленд, Нью-Йорк) с узкой полидисперсности для нормализации интенсивности рассеяния света под углом 90°. Бычий сывороточный альбумин (Sigma-Aldrich, Сент-Луис, Миссури, США) также был использован для калибровки всех детекторов: UV, LS, DP и RI. Процент выхода образца из колонки был получен из соотношения элюированной массы, найденной из интегрирования сигнала RI к введённой массе. Все сигналы от четырёх детекторов были проанализированы с помощью программного обеспечения ASTRA (V.7.1.2.5, Wyatt Technology)» [141].

«...Все образцы были отсканированы при 280 нм. Изменение коэффициента преломления в зависимости от концентрации полимера dn/dc в растворе 50мМ NaNO₃ равное 0.132, было взято из работы» [141].

с) Определение молекулярной массы и молекулярно-массового распределения методом турбидиметрии.

«...Для определения полидисперсности макромолекул инулина использовали метод турбидиметрического титрования [142]. В начале проводили грубое титрование. В плоскодонную колбу наливали 15 мл раствора полисахарида, погружали в раствор стерженек магнитной мешалки, колбу устанавливали на столик магнитной мешалки и при перемешивании

титровали раствор этиловым спиртом до появления еле заметной на глаз мутности. Измеряли объем осадителя, израсходованного на грубое титрование.

Точное титрование выполняли в кювете. В стакан наливали 15 мл исходного раствора полимера, погружали в него стерженек магнитной мешалки и при непрерывном перемешивании быстро добавляли в кювету спирт (на 2мл меньше, чем пошло на грубое титрование). Раствор исходного полимера налили в кювету и в две другие кюветы наливали чистый растворитель. Следили за тем, чтобы стенки кювет, через которые проходят пучки света, всегда были чистыми. Помещали кюветы в кюветдержатели и измеряли оптическую плотность рабочего раствора с помощью турбидиметра 2100 AN IS (HACH, USA) при температуре $20 \pm 0.3^\circ\text{C}$. Затем, рабочий раствор перемешали на магнитной мешалке и измеряли оптическую плотность раствора. Продолжали перемешивать после каждой процедуры добавления 0.1-0.2 мл осадителя до тех пор, пока оптическая плотность раствора не перестала изменяться» [142].

Форма записи результатов:

«...Исследуемая система: начальный объем и концентрация раствора: Объем осадителя, израсходованный на грубое титрование: Условные обозначения: V-объем добавленного осадителя; D-оптическая плотность раствора полимера; D0- оптическая плотность до порога осаждения, т.е. оптическая плотность еще прозрачного раствора до начала выделения из него полимера; γ – объемная доля осадителя; D1- оптическая плотность, обусловленная выделенным полимером; D2- оптическая плотность с поправкой на разбавление раствора осадителем» [5-A] .

Обработка результатов:

«...Строили интегральную кривую турбидиметрического титрования, откладывая по оси абсцисс значения γ , а по оси ординат значения D2. Графическим дифференцированием этой кривой по γ получали дифференциальную кривую титрования. Для этого на оси абсцисс выбирали

на равном расстоянии друг от друга точки, из которых восстанавливали перпендикуляр до пересечения с кривой, и из этих точек пересечения проводили прямые, параллельные оси абсцисс, до пересечения со следующей ординатой. Рассчитывали отношение приращений $\Delta D_2/\Delta \gamma$ для каждой выбранной точки. Строили дифференциальную кривую, откладывая на оси ординат $\Delta D_2/\Delta \gamma$, а на оси абсцисс γ . Интегральную и дифференциальную кривые строили на одном графике» [5-А].

ГЛАВА 3. РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

3.1. Полисахариды из корнеклубней Эремуруса Гиссарского (*E.hissaricus*)

Лекарственные растения содержат фитохимические компоненты, которые помогают поддерживать здоровье человека и лечить заболевания. " [200]. Терапевтическое действие лекарственных растений на лечение различных заболеваний основано на химическом составе этих растений. Основными компонентами являются органические соединения, некоторые из которых являются биологически активными, но ни один из которых не действует самостоятельно и не может заменить функцию лекарственного растения в целом. Многовековой научный анализ показал, что лекарственные растения богаты углеводами, белками, фенольными соединениями, жировыми восковыми веществами и микроэлементами, которые вместе или индивидуально составляют начало терапевтического эффекта этих растений [200-202].

«...В этом плане большой интерес представляет изучение полисахаридов из асфodelовых (лат.*Asphodeloideae*) — подсемейство однодольных растений, в системе APG III, включающее в себя 14 родов и около 800 видов, распространённых в Африке, Средиземноморье, Центральной Азии [203, 204]. Одним из асфodelовых является Эремурус Гиссарский (*Eremurus Hissaricus*). Всего известно 50 видов эремурусов, из которых в Средней Азии произрастает 29» [205].

Углеводный состав корней этих растений разнообразен и состоит в основном из глюкоманана, фруктоманана и галактоманана. Водорастворимые экстракты *Elemurus spectabilis* и *Elemurus lactiflorus* содержат глюкоманан и глюкофрутан [206].

Водорастворимая фракция из Еремурус *Anisopterus* (*E. Anisopterus*, Синьзян-Уйгурской автономии) содержит олигосахарид (M_w 6 KDa), который состоит из галактоманнан (1→6)- α -d-Galp and (1→2)- α -d-Manpin

соотношением 1:3 [207]

По нашим неопубликованным данным водорастворимый полисахарид представляет α – пиранозную конфигурацию (по данным ИК-Фурье спектроскопии- спектры 802 cm^{-1} and 847 cm^{-1}) глюкоманнана (920 and 809 cm^{-1}) с высокой молекулярной массой 205.8 KDa и полидисперсности (8.45).

Глюкоманан представляет собой полисахарид, состоящий из гемицеллюлозы (растворимого волокна) и представляет собой 100% пищевое волокно. Это очень длинная и сильно запутанная нитевидная макромолекула. Структура глюкоманана мало известна и, как и целлюлозы, глюкоманан не переваривается ферментами человеческого организма. Однако микроорганизмы, которые живут в кишечнике и составляют основу внутренней среды человека, способны полностью разложить этот полимер. Таким образом, глюкоманан поддерживает важную активность кишечной микробиоты [208].

«...В желудочно-кишечном тракте (ЖКТ) глюкоманнан набухает и увеличивает вязкость содержимого ЖКТ, тем самым поддерживая его активность. Это свойство глюкоманнана сделало его широко известным по всему миру БАДом, применяемом для похудения. По данным [208], глюкоманнан выводит из организма «плохой» холестерин, снижает уровень сахара» [209] и триглицеридов, а также препятствует всасыванию этих веществ организмом.

Анализ литературных данных показывает, что многие исследователи работают над выделением, очисткой и физико-химической характеристикой полисахаридов разных видов *Elemurus* [203-205, 210, 46, 211]. Следует отметить, что растительные полисахариды *Е. Хиссарикуса*, наиболее распространённые на южных склонах гор Хисар в Республике Таджикистан, изучены недостаточно хорошо. Имеющаяся литература не дает информации ни о проблемах выделения и очистки полисахаридов из клубней корня *Е. Hissaricus*, ни об их физико-химических свойствах. Однако существует

проблема выделения и изучения основных компонентов жировых фракций, фенольных соединений, белков, соединений азота, растворимых сахаров, а также биохимических соединений, таких как моносахариды, олигосахариды и полисахариды всего корня. На разных стадиях развития элементы Гисара не изучались, что составляло цель настоящего исследования [203-205].

«...В работе использовали корни *E. Hissaricus*, выращенного на высокогорной биологической станции Сиякух Института ботаники, физиологии и генетики растений АН РТ (южный склон Гиссарского хребта, 2200 м над уровнем моря). Основные компоненты биохимических соединений таких как жирно-восковая фракция были получены по описанному методу [212], фенольные соединения по [213], белки и азотистые соединения [21], водорастворимые моно-, олиго- и полисахариды согласно литературе» [215,216].

В таблице 3.1 приведены данные о содержании основных компонентов всего корня *E. Hissaricus*. Как видно из таблицы, основными компонентами всего корня *E. Hissaricus* являются жировые фракции, фенольные соединения, соединения белка и азота, растворимые сахара, кислотные полисахариды (пектин), олигосахариды и моносахариды. Вся прорастающая фаза корня *E. hissaricus* содержит 4,98% жирного воска, 10,79% фенольных соединений, 3,37% белковых и азотных соединений, водорастворимые сахара (также полисахариды, олигосахариды, моносахариды, водорастворимые пектин-пектин, растворимые в воде) - 35,94%, кислотные сахара (полисахариды, олигосахариды и моносахариды, также пектин) - 16,9%. Следует отметить, что масса остатков или остатков клеточной стенки составляет - 21,28%.

Таблица 3.1. - Содержание основных фитохимических компонентов в целых корнях Эремуруса Гиссарского в разных фазах развития

Экстрагируемые соединения	Количество экстрагируемых соединений в разных фазах развития, %

	Бутон изация	Цвет ение	Плодо ношение	Покой	Глубокий покой
Жировосковые вещества	4.98	1.91	4.44	6.64	8.50
Фенольные соединения, полученные 96% этиловым спиртом	4.38	2.33	2.74	2.24	8.07
Фенольные соединения, полученные 80% этиловым спиртом	6.41	5.52	5.83	4.37	13.70
Белки /азотистые соединения	10.07	3.73	2.54	2.45	0.08
Водорастворимые олиго- и моносахариды	11.25	6.75	7.75	2.24	19.14
Водорастворимые полисахариды	19.85	13.4	11.93	23.00	9.78
Микрогель из водорастворимых сахаров	4.84	7.7	7.98	9.15	10.07
Олиго- и моносахариды из кислотного гидролиза	4.22	10.57	14.41	21.10	2.52
Кислотно растворимые полисахариды	5.65	10.76	8.37	7.95	3.54
Микрогель из кислотно растворимых полисахаридов	7.03	8.26	6.85	6.65	2.61
Клеточные стенки	21.28	29.04	26.97	14.00	22.36

В фазе цветения жирность составляет 1,91%, фенольные соединения - 7,85%, соединения белка и азота - 10,07%, растворимые сахара (полисахариды, олиго и моносахариды, в том числе пектин) - 27,85%,

кислотные сахара (полисахариды, В фазе цветения оставшаяся масса или остаток клеточной стенки - 29,02%.

Содержание жировых фракций и фенольных соединений в фазе плодоношения было значительно выше, чем в фазе цветения. Однако его содержание было ниже, чем в отчетный период. При этом содержание кислых сахаров в фазе плодоношения и цветения было на одном уровне, но было выше, чем в фазе вскрытия и покоя. Содержание растворимого сахара было значительно ниже в фазах цветения и плодоношения, чем в фазах прорастания и покоя. При этом содержание остатков увеличивалось во время цветения и плодоношения по сравнению с другими стадиями развития «*E. hissaricus*». Это может быть связано с обломками клеточной стенки и гидратацией воды всего этого корня.

Содержание жировой фракции в фазе состояния покоя, водорастворимых сахаров заметно увеличивается по отношению к отмеченным фазам вегетации, содержание фенольных соединений, кислотных полисахаридов, олиго- и моносахаридов, также оставшаяся масса заметно уменьшается. Содержание белков и азотистых соединений остается почти на одном уровне.

Содержание жировой фракции, фенольных соединений и водорастворимых сахаров в корнеклубнях Эремуруса гиссарского в фазе глубокого покоя (октябрь месяц) увеличивается по отношению к другим фазам и составило - 8,5%, 21,7%, и 38,99% соответственно.

Заметно снизилось содержание белков, олиго- и моносахаридов, азотистых соединений и кислотных полисахаридов, а оставшаяся масса была почти одинакова как при фазе бутонизации и составила 22,36%.

В фазе глубокого покоя содержание жировой фракции, фенольных соединений и водорастворимых сахаров в корнях Эремуруса Гиссарского как следует из вышесказанного, увеличивается по отношению к другим фазам, а содержание белков и азотистых соединений, кислотных полисахаридов, олиго- и моносахаридов заметно снижается. По-видимому, повышение

содержания жировой фракции, фенольных соединений и водорастворимых сахаров в корнях Эремуруса Гиссарского играет важную роль в период выхода из состояния зимнего покоя и фазы формирования розетки листьев.

Из проведенных исследований можно прийти к выводу, что в корнеклубнях Эремуруса Гиссарского содержание основных компонентов биохимических соединений - жировая фракция, фенольные соединения, белки и азотистые соединения, водорастворимые сахара, а также полисахариды отличаются в разные периоды развития.

Установлено, что при глубоком онемении содержание жира, фенольных соединений и растворимых сахаров в корнях *E. hissaricus* увеличивается по сравнению с другими стадиями развития. Во время фазы цветения и плодоношения содержание кислых полисахаридов увеличивалось по отношению к стадиям усадки, онемения и глубокого онемения.

3.2. Интенсификация процесса получения полисахаридов из корнеклубней топинамбура (*Helianthus tuberosus*)

В последнее время всё большее внимание уделяется безотходным многоцелевым культурам, которые широко используются в продовольственных, фармацевтических, кормопроизводственных областях и одним из таких продуктов является топинамбур (*Helianthus tuberosus*). Хотя он известен как культура нескольких тысячелетий, но только сейчас приобретает популярность как сырье для получения функциональной пищи [22, 54].

В клубнях топинамбура содержится 75-80 % углеводов в форме инулина, а в клубнях картофеля такое же количество крахмала [60].

Инулин является биополимером, состоящим из D-фруктозы (содержащий от 10 до 36 мономеров), связанных β (2 $\rightarrow$ 1)-связями с остатками D-глюкозы в конце цепи, связанные с D-фруктозой, с помощью α (1 $\rightarrow$ 2) связей [22, 58, 59] (рис.1.9, гл.1).

Расположение фруктозных мономеров делает инулин неперевариваемым в пищеварительной системе человека и это форма

инулина не повышает уровень сахара в крови. Рентгеноструктурные исследования показали орторомбическую и псевдогексагональную геометрию для гидратированных и полу гидратированных (половина молекулы воды на фруктозильную единицу) молекул инулина соответственно, состоящую из двух антипараллельных шестикратных спиралей. Также была предложена модель, соответствующая пятикратной спирали. В растворе олигомеры инулина показывают одну спиральную конформацию, которая невозможна для более длинной цепи из-за стерических ограничений [64].

Возможно, самое полезное свойство инулина с точки зрения фармацевтики - это его свойство проявлять различные молекулярные структуры (полиморфы или изоформы). Инулин, полученный осаждением этанола, представлен β -формой, а водная экстракция при комнатной температуре или ниже даёт α -инулин [65]. Теоретические исследования показывают, что допустимы многие формы [65], также на практике было обнаружено, что как α -, так и β -формы были неустойчивыми [66]. Позже была обнаружена и третья форма инулина (γ), которая не растворима при температуре человеческого тела. Открытие данной формы позволило учёным создать новую вакцину [67]. Новая форма δ -инулина хорошо растворима при температуре менее 75°C и оказалась более эффективным средством для применения в медицинской практике [68].

Работа посвящена повышению эффективности процесса экстракционной переработки местного инулинсодержащего растительного сырья для получения инулина, определению оптимальных условий процесса экстракции, выбору параметров обработки (время и температура обработки, способ экстракции). Для этой цели корнеклубни топинамбура сорта «Сарват» (выведенного учёными и специалистами Центра инновационного развития и новых технологий НАНТ) предварительно очищали от жира-восковых веществ и полифенольных соединений, затем

инулин экстрагировали методом флэш-экстракции [2-А] для сравнения с известным методом экстракции данного полисахарида.

3.2.1. Экстрагирование жиро-восковых веществ из корнеклубней топинамбура

100 г измельченных на мельнице сухих (с влажностью 12%) корнеклубней топинамбура помещали в круглодонную колбу и добавляли 500 мл этилацетата. Жиро-восковые вещества (ЖВВ) из корней отделяли мацерацией при температуре 40°C с обратным холодильником, в течение 24 часов при промежуточном перемешивании. Экстракт отфильтровали, центрифугировали и концентрировали на роторном испарителе до получения жирного слоя. Полученные ЖВВ сушили на открытом воздухе и затем при повышенных температурах под тягой. Общее количество экстрагированных веществ этим методом составило 9.75%. Выход ЖВВ оказался незначительным и составил 0.32% (0.3185 гр).

ЖВВ, экстрагированные из корнеклубней топинамбура, богаты композициями жирных кислот. Анализ липидных компонентов некоторых сортов топинамбура [143, 144], показал, что в нем содержатся предельные и непредельные высшие жирные кислоты, глицерофосфаты, моноглицериды и холестерин. Количество жирных кислот в топинамбуре сравнительно низкое (таблица 3.2).

Таблица 3.2. - Жирнокислотный состав липидов топинамбура, на 100 г продукта [110]

Жирные кислоты	Содержание, г
Ненасыщенные жирные кислоты:	
Омега-9 МНЖК, в т.ч. олеиновая	0,012
Омега-6 ПНЖК, в т.ч. линолевая	0,256
Омега-3 ПНЖК, в т.ч. линоленовая	0,067
Насыщенные жирные кислоты:	

Пальмитиновая	0,138
Стеариновая	0,007

Полученные фракции ЖВВ анализировали на приборе ИК-Фурье спектроскопии. На рис. 3.1. приводятся ИК-спектры ЖВВ, полученные путем мацерации сухих корнеклубней топинамбура. На ИК-спектрах имеются характерные полосы поглощения для липидов: валентные колебания при 1165-1168 см^{-1} , соответствующие связи $-\text{C}-\text{O}-$, что характерно для эфиров высших карбоновых кислот; полосы при 1740-1744 см^{-1} -карбонильной группы связи $-\text{C}=\text{O}$ в сочетании с деформационным внеплоскостным колебанием $-\text{C}-\text{H}$ связи, что свидетельствует о наличии эфиров ненасыщенных жирных кислот преимущественно в цис-конфигурации; а также полоса поглощения при 1650 см^{-1} , характеризующая валентные колебания двойных $-\text{C}=\text{C}-$ связи.

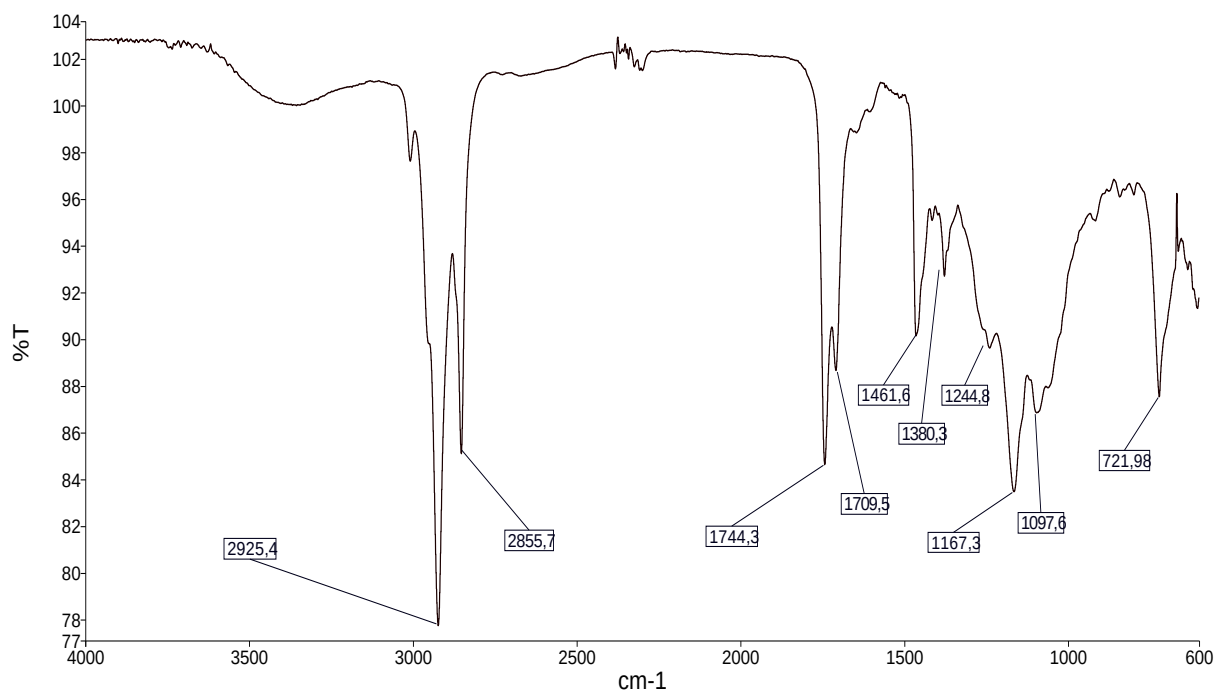


Рисунок 3.1. ИК-Фурье спектры полученных ЖВВ этилацетатом.

Выраженная полоса поглощения при 1380 см^{-1} характеризует деформационные колебания связи $-\text{C}-\text{H}$ центрального атома глицеринового фрагмента в ЖВВ; полосы поглощения при 1462 см^{-1} , 2924 см^{-1} и 2855 см^{-1}

характерные для ножничных, ассиметричных и симметричных валентных колебаний $-\text{CH}_2$ групп алкано- и алкенных соединений соответственно, что подтверждает присутствие в образцах масла высших алифатических кислот. Полоса поглощения в областях $721\text{--}722\text{ см}^{-1}$ соответствуют маятниковым колебаниям нескольких связанных $-\text{CH}_2$ групп, к которым относится также полоса 1167 см^{-1} , а также сочетание поглощений при 722 см^{-1} и 1380 см^{-1} относят к вне плоскостным и плоскостным деформационным колебаниям C-H связи непредельных углеводородов (в структуре $-\text{CH}=\text{CH}-$) характерная для спектров всех масел. Слабое поглощение при $3300\text{--}3009\text{ см}^{-1}$ относят к колебаниям спиртовых $-\text{OH}$ групп, присутствующих в составе ЖВВ.

3.2.2. Экстрагирование полифенольных соединений из корнеклубней топинамбура

Полифенольные соединения (ПФС) представляют собой разнообразную, биологически активную и широко распространенную категорию вторичных метаболитов растений, которые составляют существенную часть рациона человека и представляют значительный интерес из-за своих биологических свойств [145–149]. Они делятся на несколько классов, такие как фенольные кислоты (гидроксibenзойные и гидроксикоричные кислоты), флавоноиды (флавонолы, флавоны, флаванолы, флаваноны, изофлавоны, проантоцианидины), стильбены и лигнаны, которые распространены в растениях и продуктах питания растительного происхождения [146]. Регулярное употребление продуктов, богатых полифенолами, может помочь снизить частоту сердечно-сосудистых заболеваний, рака толстой кишки, заболеваний печени, ожирения, диабета и др. [145–147]. В растениях эти соединения, обычно синтезируются в качестве защитных агентов против физиологических и экологических стимуляторов [145] имеют высокий уровень антиоксидантной, противомикробной, противовоспалительной и противоопухолевой активностей [148, 149]. Извлечение этих биологически активных компонентов из растений обычно осуществляется водно-

этанольным раствором, что является ограничивающим фактором для потребления. Для решения данной проблемы разработаны различные технологические подходы для инкапсулирования ПФС с последующей доставкой этих полезных веществ в организм человека [149-151].

Остаток после выделения ЖВВ был использован для экстракции ПФС. Экстракцию ПФС проводили в двух стадиях: на первой стадии остаток обезжиренных корнеклубней был обработан 95% спиртом в течение 24 ч при комнатной температуре. Экстракт отфильтровали, центрифугировали и концентрировали на роторном испарителе. Осадок высушили, масса ПФС составила 1,5341 гр. или 1.7% (табл.3.3).

На втором этапе, остаток корнеклубней подвергли экстракции 80% спиртом при тех же условиях, как в первом случае. Выход ПФС на этой стадии составил 22.0 %, что говорит о высокой экстрагирующей способности 80% водно-этанолового раствора по отношению к ПФС.

Таблица 3.3. - Экстрагированные вещества из топинамбура сорта «Сарват».

Фракции экстрагированных веществ из корнеклубней топинамбура	Выход экстрагированных веществ, %		Примечание
	Всего	Данная фракция	
Жиро-восковые вещества-ЖВВ (экстракция этилацетатом)	10.1	0.32	В составе экстрагированных веществ, кроме ЖВВ могут входить сахара и фенольные соединения, кумарины и терпеновые соединения.
ПФС, полученные 96% этиловым спиртом	4.1	1.70	
ПФС, полученные 80% этиловым спиртом	21.6	22.00	

Белки /азотистые соединения	7.2	6.90	
Витамин С (мг/100г корнеклубней)	-	-	30.70
Водорастворимые моно- и олигосахариды/ инулин	19.4	19.70	
Водорастворимые полисахариды/ пектин	12.5	9.80	
Микрогель из водорастворимых сахаров	0.3	0.20	
Микро- и макроэлементы	-	5.6	Из золы корнеплодов
Остаток клеточной стенки/ Сумма экстрагированных веществ	24.6	91.70	

Первичная характеристика ПФС была осуществлена ИК-Фурье спектроскопией. На рис. 3.2 приводятся ИК-спектры ПФС экстрагированных 95% и 80%-ным водным раствором этилового спирта.

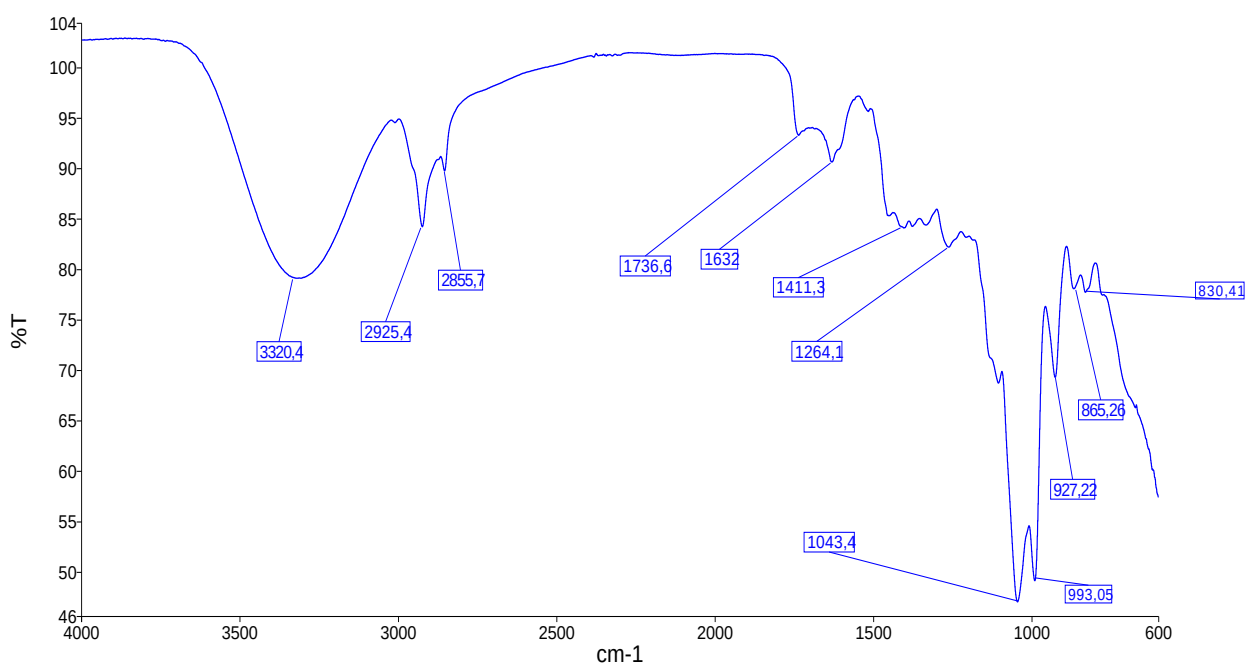
Для ароматических соединений растяжение С-Н связи находится в области 3100–3000 см⁻¹; в области 2000–1700 см⁻¹ - слабая комбинация, полосы обертона и замещение бензольного кольца; 1650–1430 см⁻¹ - область скелетной вибрации (растяжение С=С); Деформационные С-Н плоскостные колебания связи в ароматическом ядре находится между 1275–1000 см⁻¹; колебания связывания с внеплоскостными появляются в области 900–690 см⁻¹ [118].

Пик в диапазоне 1384-1396 см⁻¹ показывает присутствие ОН групп в молекулах ПФС; пик 1084 см⁻¹ для отношения С-Н, который характерен для ароматического ядра; пик 1044 см⁻¹ соответствует кетонной группе, а пик 878 см⁻¹ соответствует деформационным колебаниям δ С-Н в плоскости.

Присутствие флавоноидов и полифенолов в двух видах изучали как качественно с помощью ИК-спектроскопии, так и количественно с

помощью программы know all (из статьи) выделением валентные колебания полос C = O.

Валентные колебания гидроксильных групп как спирта, так и карбоновых кислот наблюдаются в полосах 3320 см^{-1} . Появление этой полосы при 3320 см^{-1} - 3328 см^{-1} говорит об высокой степени ассоциации ПФС в обеих фракциях. Ароматические валентные колебания C-H идентифицируются следующими полосами валентных колебаний 2925 см^{-1} , 1043 см^{-1} , 1028 см^{-1} . C = C валентные колебания ароматического кольца проявляются около 1411 см^{-1} для ПФС экстрагированные с 95%, и при 1589 см^{-1} для образца ПФС выделенный с 80% водно-этаноловым раствором. Поглощения валентных колебаний C-O или C-OH обозначается полосой при 1264 см^{-1} в обоих случаях [168].



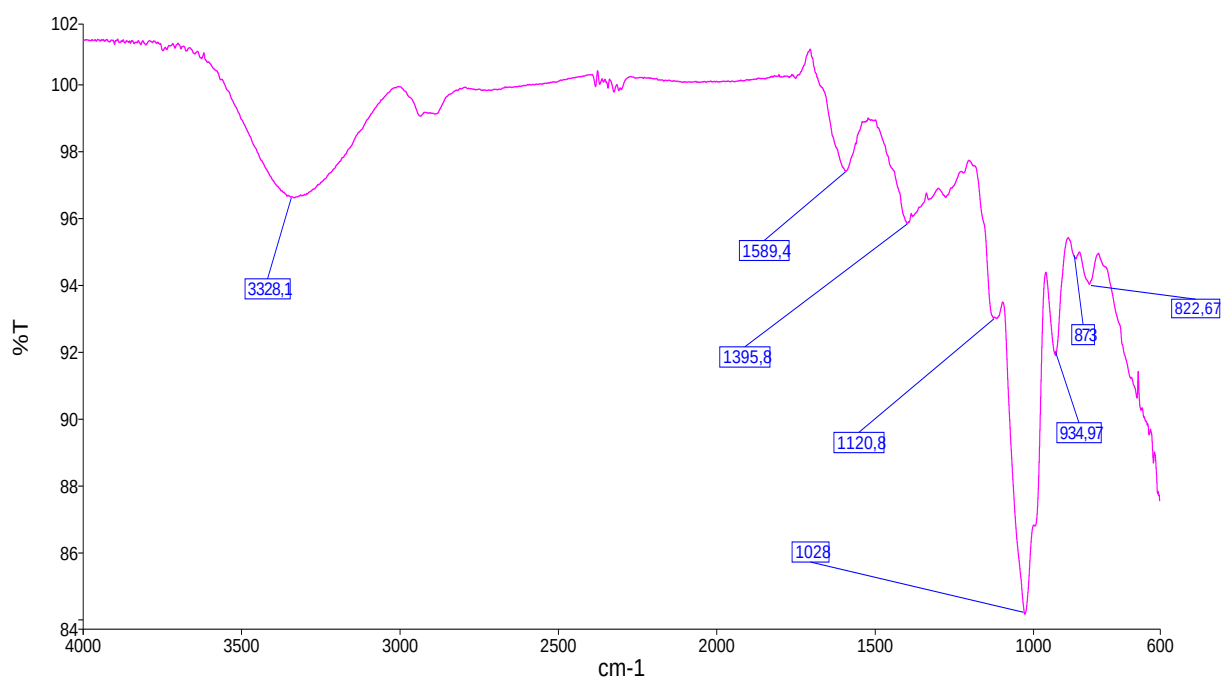


Рисунок 3.2. - ИК-Фурье спектры экстракта, полученных из корнеклубней топинамбура 95% (верхний) и 80% (нижний) этиловым спиртом [7-А]

Китайскими учёными [155] для идентификации и количественного определения ПФС в листьях *Helianthus tuberosus*, произрастающего в северном регионе Китая (Jiangsu, China) применили ВЭЖХ с обращенной фазой в сочетании с tandemной масс-спектрометрией (HPLC-MS/MS). ПФС экстрагировали 70% водно-этаноловым раствором при 50°C. Было идентифицировано десять производных хлорогеновой кислоты (3-о-кофеилхиновая, два изомера кофеилхиновой кислоты, кофейная, п-кумароилхиновая, ферулоилхиновая, 3,4-дикафеилхиновая, 3,5-дикафеилхиновая, 1,5-дикофеилхиновая 4,5-дикафеилхиновая) путем сравнения их времени удерживания, спектров поглощения в УФ-видимой области и спектров МС / МС со стандартами. Показано, что вариации концентрации ПФС и их соотношений в листьях Топинамбура данной местности зависели от генотипа и стадии роста растений. Местный сорт (*NanYu*) имел самую высокую концентрацию фенольных соединений, в частности 3-о-кофеилхиновой и 4,5-дикафеилхиновой кислот, по сравнению с другими генотипами (дикий образец и *QingYu*). С учетом различных стадий роста, концентрация общих фенольных соединений у

сорта *NanYu* была выше на стадии цветения (5,270 мг / г сухого сырья), чем на стадиях бутонизации и плодоношения. Установлено, что сорт Топинабура (*NanYu*) является потенциальным источником природных фенолов, которые могут сыграть важную роль в разработке фармацевтических препаратов.

Таджикскими учёными [156] также было изучено содержание полифенольных соединений спиртового (метанольного) экстракта клубней топинамбура, произрастающего в южном регионе Таджикистана. Метанольный экстракт из клубней *H.tuberosus* L., анализировали методом жидкостной хроматографии-масс-спектрометрии (LC-MS/MS). Хлорогеновая и 1,5-дикаффеоилхиновая кислоты были определены как основные компоненты метанольного экстракта клубней по данным ЯМР и LC-MS/MS. Их антиоксидантная способность оценивалась с использованием анализов DPPH, ABTS и FRAP. Значения ингибирующей (IC_{50}) активности метанольного экстракта составляли $13,61 \pm 0,1$ г/мл для DPPH и $30,23 \pm 0,4$ г/мл для теста ABTS, соответственно. Водный экстракт проявлял низкую антиоксидантную активность. Кроме того, метанольный экстракт показал довольно слабую цитотоксичную активность со значениями IC_{50} 265,0 г/мл для CCRF-CEM и 345,9 г/мл для CEM / ADR5000 раковых клеток соответственно.

«...Эффективными соединениями *H.tuberosus* являются кумарины, ненасыщенные жирные кислоты, производные полиацетилена, фенольные соединения и сесквитерпены [157]. Недавние исследования показали, что фармакологические характеристики *H.tuberosus* связаны с его фенольными соединениями, обладающими антиоксидантной и улавливающей радикалы активностями; основными фенольными кислотами в листьях *H. tuberosus* были хлорогеновые кислоты [158]. Хлорогеновые кислоты оказывают ингибирующее действие на канцерогенез в толстом кишечнике, печени и языке, а также защитные эффекты против окислительного стресса *in vivo*» [159].

Таким образом, ЛНА и PPS, извлеченные из салватской разновидности курицы, которую мы изучили с помощью инфракрасной спектроскопии Фурье, представили все характерные полосы, указывающие на присутствие насыщенных жирных кислот, флавоноидов и фенольных кислот в радикальных клубнях курицы. Однако эти полосы отличались по интенсивности: у экстракта ПФС, полученного 80% водно-этаноловым раствором она была выше, чем у экстракта ПФС, полученного 95% раствором. Это указывает на то, что в составе ПФС топинамбура водорастворимая фракция фенольных соединений высокая. Полосы поглощения в экстрактах были немного смещены по сравнению друг с другом. Общее количество ПФС экстрагированных 95%- и 80%-спиртовыми растворами приведены в табл. 3.2.

Ценными веществами, полученные из топинамбура, считаются водорастворимые моно- и олигосахариды, полисахариды инулин и пектин. В данной работе мы рассматриваем процесс получения и свойства только инулина.

Все более широкое применение инулина в пищевых продуктах требует использования разных растительных источников для его выделения и производства. Существует множество способов извлечения инулина [160, 161, 162]. По традиционному способу [160] инулин экстрагируют смешиванием измельченных сухих клубней с горячей водой в соотношении 1:6, выдерживают при 70 ° С в течение 12 ч, Водный экстракт отделяют и остаток обрабатывают еще три раза водой в соотношении 1:4 в течение 40 минут, после чего все фракции объединяют. Очистку разбавленных водных экстрактов (1:1) проводят карбонатом кальция при 80-85 ° С в течение 60 минут каждый. Полученный экстракт фильтруют, упаривают и кристаллизацию сырого инулина проводят в холодильнике при 4 ° С в течение 5 дней из водного экстракта или разбавленного экстракта после добавления 1:1 спирта [160].

Для интенсификации процесса экстракции, авторы [163] сообщили об

использовании ускоренной экстракции растворителем. Данный способ обеспечивает быструю экстракцию при высокой температуре и высоком давлении, сводя к минимуму расход растворителя и манипуляции с образцами. Другие авторы [164, 165] использовали экстракцию с помощью ультразвука, где показано, что применение высокочастотных и высокоинтенсивных волн вызывает нарушение клеточных стенок растений, интенсифицирует высвобождающиеся экстрагируемые веществ. Авторы [166] применили микроволновую экстракцию, метод, при котором растворитель нагревается с помощью микроволновой энергии. Избирательная миграция соединений может быть достигнута с большей скоростью за счет локальной температуры и давления, вызываемых микроволнами.

3.2.3. Экстракция инулина

В данной работе водорастворимые олиго- и моносахариды, в том числе инулин был экстрагирован из обезжиренных корнеклубней топинамбура новым флэш-методом (ФМ) [2-А] в автоклаве при 95° и 105°С в течение 7 мин. Для сравнения выхода и эффективности процесса экстракции ФМ, проводили экстракцию инулина и традиционным методом (ТМ) –экстракцией водой при температуре 75°С в течение 60 мин. [61, 63, 163]. Далее из раствора гидролизата осаждением этиловым спиртом выделяли высокомолекулярный полисахарид (пектин), а из оставшегося раствора охлаждением при температуре ниже 10°С получали инулин [2-А].

Таблица 3.4. - Выход продуктов экстракции из корнеклубней топинамбура сорта «Сарват» ТМ и ФМ [2-А]

Образец	Метод экстракции	Выход продуктов, % сухой массы			
		водорастворимые вещества			остаток клеточной стенки
		пектин	инули	сахара и	

			н	другие вещества	
И 80-1Ат	ТМ	8. 20	8.50	58.7	24.6
И 95-1.5Ат	ФМ	9. 75	19.21	64.9	3.42
И105-1.5Ат	ФМ	13. 40	16.20	66.7	3.68

Данные выхода продуктов в процессе экстракции приведены в табл. 3.4. Большую часть продуктов экстракции составили водорастворимые вещества, выход которых достиг почти 75% при традиционном методе и до 97% от всей массы корнеплода топинамбура при экстракцией ФМ. Как и следовало ожидать, наибольший выход инулина получен экстракцией ФМ при повышенных температурах 95° и 105°С и давлении 1.5 Атм, который составил 19.21% и 16.2% от сухой массы соответственно [2-А]. Количество пектина в данном сорте топинамбура также было выше при экстракции ФМ.

Увеличение температуры привело к снижению выхода водорастворимого инулина и увеличению экстракции пектина. Остальную часть составили водорастворимые сахара, фенольные и минеральные вещества, белки и другие соединения, которые являются предметом дальнейшего изучения.

Одной из важных особенностей топинамбура является сбалансированность его по микро- и макроэлементному составу.

Качественный и количественный анализ микроэлементов в порошковом образце инулина, проведённый методом рентгеновской флуоресценции на высокотехнологичном приборе волнодисперсионном рентгенофлуоресцентном (ВДРФ) спектрометре S8 TIGER (Германия), приведён в табл.3.5.

Таблица 3.5. -Содержание оксида элементов (в % от сухого остатка) в исходном образце инулина [2-А]

Наименование	Содержание, %
--------------	---------------

оксидов	литературные данные	данные исследования
Na ₂ O	0.78	0.24
K ₂ O	1.94	2.22
SrO	0.002	0.00
Rb ₂ O	0.04	0.00
MgO	0.06	0.21
CaO	0.48	0.23
Fe ₂ O ₃	0.07	0.03
ZnO	0.10	0.12
P ₂ O ₅	0.50	0.80
SO ₃	0.60	0.38
CO ₂	-	95.95

Данные таблицы 3.5 показали, что в исходном неочищенном образце инулина, содержание оксидов калия (K₂O), фосфора (P₂O₅), кальция (CaO), магния (MgO) и цинка (ZnO) являются наибольшими по сравнению со средними значениями указанных минералов, приведёнными в литературе [23,73], в то время как установленное содержание других минералов были наименьшим. Исследуемый инулин, полученный из топинамбура сорта «Сарват», не содержал в своём составе радиоактивных элементов стронция (SrO) и рубидия (Rb₂O), но содержит такие микроэлементы, как железо (Fe₂O₃) и сера (SO₃). Органическая часть по выходу летучих веществ (CO₂) составила 95.95%.

«...Топинамбур активно аккумулирует кремний из почвы и относится к «кремнефильным» растениям (до 8 мг %) [161]. Кремний – второй по важности для человека элемент после кислорода. Он участвует в усвоении организмом более 70 минеральных солей и витаминов; способствует усвоению кальция и росту костей, предупреждает остеопороз; стимулирует иммунную систему; необходим для здоровья волос; улучшает состояние

ногтей и кожи, укрепляет соединительные ткани и сосуды; снижает риск сердечно-сосудистых заболеваний» [161].

«...Достоинством клубней топинамбура является высокое содержание в них селена – от 10 до 14 мкг/кг. За счет этого создается его антиканцерогенное действие» [163].

«...Анализируя литературные данные по химическому составу клубнеплодов топинамбура было установлено, что употребление 100 г клубнеплодов топинамбура человеком в свежем виде удовлетворяет суточную потребность в инулине на 50%, в пищевых волокнах на 20%, в пектиновых веществах на 30%, в калии на 75%, в кальции на 8%, в магнии на 7,3 %. По уровню удовлетворения суточной потребности человека в железе, натрии (калий), цинке и меди 100 г топинамбура не превышает 5 %» [1-3, 22, 54-56, 145-161].

3.3. Характеристика инулина

3.3.1. ИК-Фурье спектры образцов инулина

ИК-Фурье спектры образцов инулина, полученные тремя способами, были сняты в сухом виде с помощью приставки НПВО с призмой ZnSe на Spectrum 65 FT-IR (Perkin Elmer).

Анализ ИК-Фурье спектров образцов инулина представлен на рис.3.3. Типичные полосы для этого полисахарида были обнаружены в областях: 3342-3281 см^{-1} из-за валентных колебаний ОН, интенсивности полос поглощения, характерные для карбонильной группы в области 1640 см^{-1} и 1393 см^{-1} , интенсивная полоса при 1032 см^{-1} с характерным плечом при 1134 см^{-1} относящаяся к С-О-С вибрации пиранозного цикла. Полоса при 934 см^{-1} отнесена к остатку глюкозы (-D-Glcp) в углеводной цепи, а сочетание этой полосы и пика при 1026 см^{-1} указывает на наличие ОН-групп глюкозы в инулине.

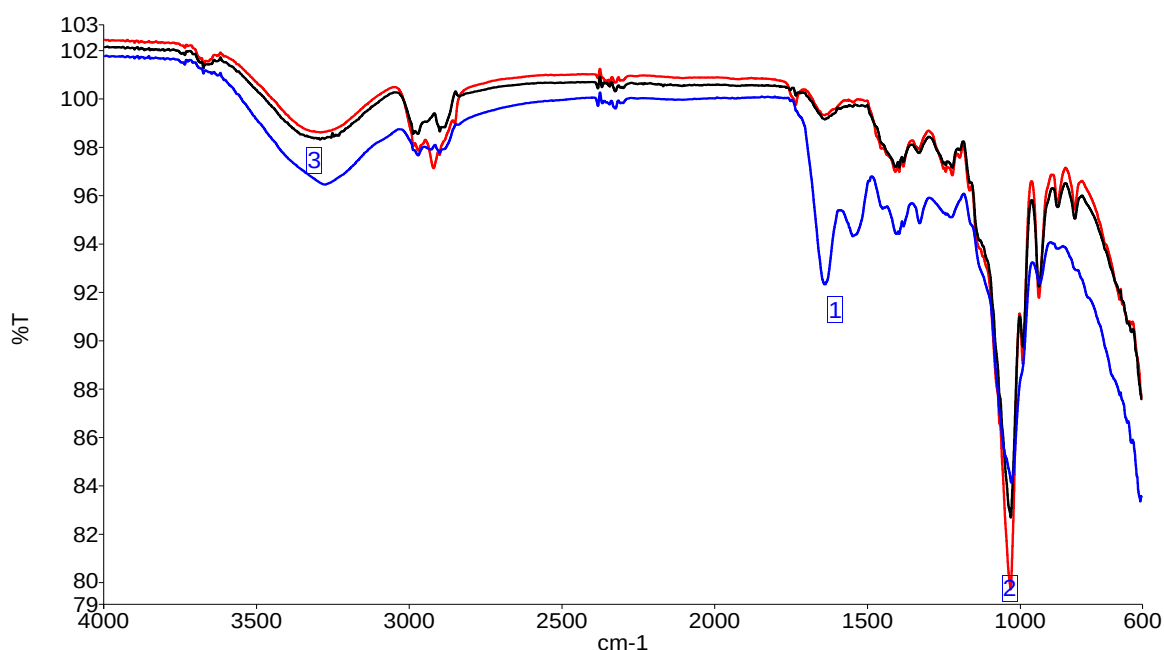


Рисунок 3.3. -ИК-Фурье спектры образцов инулина: (1). Инулин, полученный ТМ; (2) Инулин, полученный ФМ при 95°C ; (3) Инулин, полученный ФМ при 120°C [3-А, 2-А].

«...Последняя, в сочетании с полосами поглощения при 876 и 818 см^{-1} подтвердила наличие 2- кетофуранозы в образце инулина, полученный ФМ. Полосы поглощений с максимумами при 934, 876, 818 см^{-1} типичны для β (2-1)- связей остатков фруктофуранозы, которые почти отсутствовали у инулина, полученным ТМ» [3-А, 2-А].

Результаты спектроскопии FTIR соответствуют предыдущим отчетам по инулинам, извлеченным с НМ из цикория и древесного сорго [165-167]. Различия в IV спектрах заключаются не только в колебательных частотах основных полисахаридных цепей. (вибрации эстераменто колебаний С-С 900-1200 см^{-1} , А - Н симметричные 2850 см^{-1} и асимметричные 2922 см^{-1} кольца пиранозы), а также в полосах поглощения, характерных для карбонильных групп в области 1600-1800 см^{-1} . Интенсивность инулина также указывает на степень полиморфизма и агрегации частиц. Полоса около 1545 см^{-1} в воде, экстрагированной инулином (ТМ), может быть отнесена к ароматическим соединениям (возможно, фенольным соединениям) [168]. Интенсивность полос поглощения ароматических соединений для образца, полученного

ТМ, была выше, чем для двух первых образцов соответственно, что свидетельствует об их доминировании в данном образце. ИК-спектры образцов инулина полученных ТМ и ФМ экстракции отличились, в основном, из-за присутствия пектиновых фракций. Экстракт, полученный с помощью ФМ, имеет более сильную полосу поглощения в диапазоне 122-1404 см⁻¹. Это можно объяснить более высоким содержанием этерифицированных карбоксильных и гидроксильных групп в пектине. Различия в IV спектрах указывают на то, что в зависимости от среды выращивания и условий экстракции существует разнообразие в образовании полисахаридов Rutaceae. Установление тонкой структуры этого полисахарида малинового бугорка является предметом будущих исследований.

Поэтому мы пришли к выводу, что сырой инулин, полученный последовательным спиртовым осаждением или однократной кристаллизацией в ТМ и ЧМ способах, содержит примеси, такие как пектин, белковые и аминокислотные остатки, органические кислоты, фенольные соединения и продукты их окисления, и является источником рассматриваемых углеводов. Может использоваться в качестве заменителя сахара и жира. Было также показано, что экстракты инулина богаты макронутриентами и микроэлементами К, Mg, Са, Р, Fe и Zn. Используя метод ФМ, растворы, содержащие инулин, могут быть получены с большей чистотой и количествами пектина, синергического компонента, который значительно увеличивает положительное воздействие инулина на организм. Растворы, содержащие инулин методом ТМ [3-А, 2-А].

3.3.2. Молекулярная масса и гидродинамические свойства инулина

Сегодня, во всем мире воздействие загрязнения воздуха, особенно в странах с низким и средним уровнем дохода, где уровень загрязнения воздуха растет в значительной степени, основанной на использовании

ископаемого топлива. Особый интерес с точки зрения санитарно-эпидемиологического благополучия населения представляют риски для здоровья, ассоциируемые с мелкодисперсными частицами диаметром менее 10 и 2,5 микрон, тем более серьезным является вред здоровью, особенно, здоровью людей с хроническими заболеваниями (такими как астма, болезни дыхательных путей, диабет и болезни сердца).

По данным Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), диабет является одной из основных причин смерти и остается одной из самых актуальных проблем в клинической медицине. В настоящее время 425 миллионов человек во всем мире диагностированы с диабетом II типа, и заболеваемость неуклонно растет. По данным специалистов ВОЗ, диабет стал прямой причиной 1,5 млн смертей в 2019 году. Ожидается, что к 2045 году общее число людей с диабетом увеличится на 51% до 700 миллионов [Международная федерация диабета IDF, 2019 г., дата обращения 12-Октября 2021 г.].

По этим данным в Таджикистане от диабета страдают более 242.6 тысяч человек. Количество случаев смерти, которые можно отнести к высокому содержанию сахара в крови составляет 2413 человек. Препараты, используемые при лечении диабета, представляют собой таблетки (пероральные противодиабетические средства) и инсулин.

«...Известно о профилактических свойствах для больных диабетом II типа инулинсодержащего сырья, продукты переработки которого способны повысить иммунозащитные свойства организма человека» [168-171]. Диетологами рекомендовано его ежедневное потребление в количестве от 1 до 10 г, в зависимости от географических, демографических и других связанных параметров (возраст, пол, время года и т.д.) [163]. Создание функциональных пищевых продуктов на основе инулинсодержащего растительного сырья позволит обеспечить население функциональным питанием диабетического характера.

Учитывая высокую пищевую и биологическую ценность инулина,

потенциал производства функциональных натуральных пищевых продуктов на основе инулина и общественную потребность в них, желательно разработать технологии производства инулина и продуктов на основе инулина. Важным аспектом при создании рецептов для функциональных пищевых продуктов является точное моделирование состава ингредиентов, включая специфические физические и химические параметры инулина [35, 91, 172-174].

Гидродинамические свойства и молекулярная масса являются фундаментальными для определения разумных значений параметров процесса экстракции в производстве инулина. Например, при использовании в качестве заменителя жира высокомолекулярный инулин, смешанный с водой или с водным раствором, образует сеть частиц геля, образуя сливочную и растяжимую текстуру, которую можно легко добавлять в пищевые продукты для замещения до 100% жира [174].

Возможно, наиболее полезным свойством инулина с медицинской точки зрения является его присутствие во множестве различных структур молекулярной упаковки (полиморфные или изоформные). Осаждение инулина этанолом дает β -форму, а в водном растворе при комнатной температуре или ниже он находится в форме α -инулина [65,175]. Теоретические исследования показывают, что допустимы многие формы. На практике было обнаружено, что как α -, так и β -формы являются нестабильными конформациями. Структурные последствия существования таких изоформ представляют значительный интерес [175, 176].

Инулин - это природный полисахарид с уникальными физико-химическими свойствами, которые позволяют использовать его в пищевой и фармацевтической промышленности. Для характеристики инулина был применен широкий спектр аналитических инструментов. Повышенное понимание химии и поведения полимеров инулина привело к новым важным применениям в качестве средств доставки лекарств, иммуностимуляторов и адъюванта вакцины. Гели инулина важны для

нескольких областей применения, в настоящее время наиболее коммерчески значимым является производство продуктов питания, где он используется в качестве низкокалорийного наполнителя, заменяет жир, сахар и муку, обеспечивая при этом ценные пищевые волокна [67, 174-176]. Гелеобразование инулина описывается как гель-частицы, в котором трехмерные сети образуют агрегированные коллоидные частицы инулина [177].

Высокая молекулярная масса инулина топинамбура приближает его свойства к свойствам высокоэффективного инулина цикория, и он может быть использован для аналогичных целей в пищевой промышленности. Необходимость увеличения использования доступного и малоценного сырья побудило исследовать процессы экстракции, структуру и молекулярные параметры инулина для рекомендации его в качестве профилактического продукта для лечения сахарного диабета.

Молекулярная масса (M_w) инулина напрямую зависит от степени полимеризации (СП), которая представляет собой длину цепочки фруктозы, которая, с другой стороны, зависит от типа растения (топинамбур, цикорий, девясил и др.) и времени сбора [177, 178].

В данной работе образцы инулина для исследования были получены из корнеклубней топинамбура сорта «Сарват» флэш-методом (ФМ) в автоклаве при 95°C и 105°C (образцы Инулин-1 и Инулин-2) в течение 7 мин [4-А, 179] и традиционным методом (Инулин-ТМ) –экстракцией водой при температуре 75 °C в течение 60 мин. рН в обоих случаях было постоянное, равное 6.8. Далее экстракты были концентрированы на роторном испарителе при низком давлении, затем из раствора гидролизата осаждением этиловым спиртом выделяли низкомолекулярный инулин и высокомолекулярный пектин [2-А]. Экстракт Инулин-2, также был концентрирован на ультрафильтрационной мембране (УФ) УМП-50 (г. Владимир, РФ) с целью разделения полисахаридов: высокомолекулярных (пектин) и низкомолекулярных (инулин). Инулин-3 получили из концентрированного раствора после

ультрафильтрации.

На рис 3.4 приводятся кривые молекулярно-массового распределения образцов инулина, полученные различными методами и режимами экстракции. Как видно из хроматограммы и кривых распределения полисахарида по молекулярной массе (ММР), у образцов, полученных при ФМ-экстракции, наблюдаются два пика. Первый небольшой пик, имеющий высокую молекулярную массу элюируется при объеме 14.5 мл, затем основная фракция полисахарида - инулин вымывается из хроматографической ЭЖХ колонки при объеме 19.5-21.0 мл.

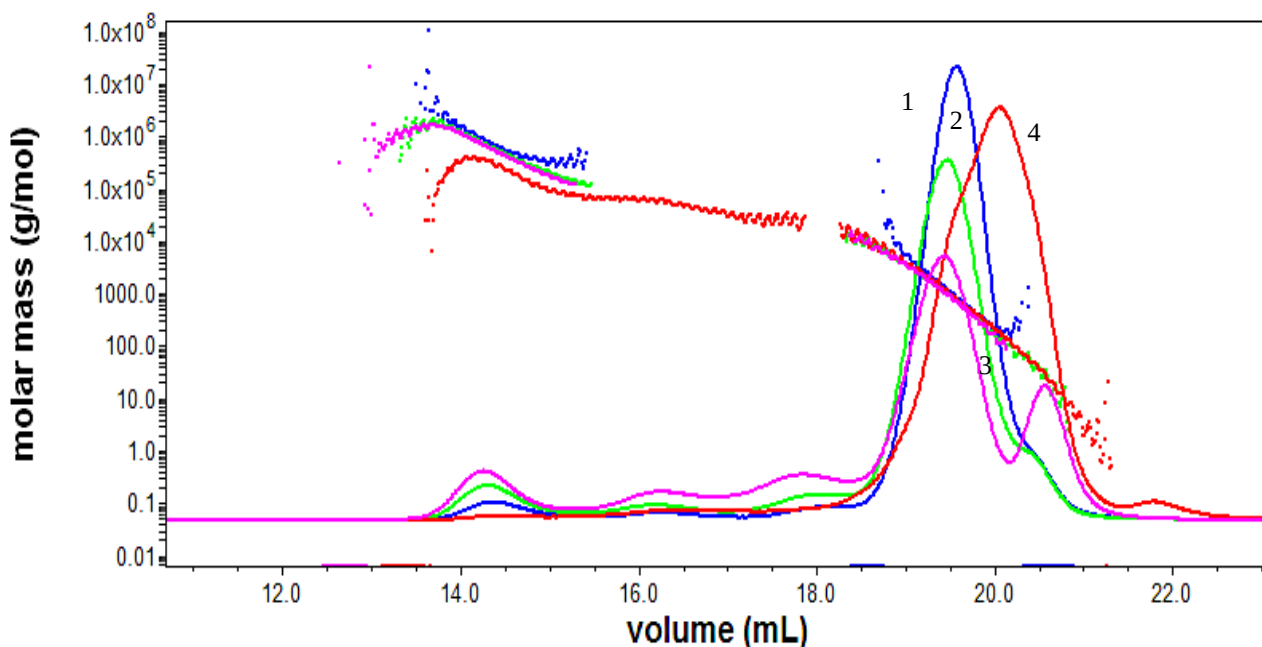


Рисунок 3.4. - Профиль ВЭЖХ хроматограммы и кривые молекулярно-массового распределения (ММР) экстрагированных полисахаридов из топинамбура, произведённые с применением вискозиметрического в сочетании с рефрактометрическим детекторами: (1)-Инулин 1; (2) Инулин 2; (3) Инулин 3 и (4) Инулин -ТМ [4-А].

Результаты анализа ВЭЖХ хроматограммы и кривых распределения ММР образцов инулина, экстрагированных различными методами были обработаны с помощью программы ASTRA 5.3.4.13 и приводятся в таблице 3.6. В таблице 3.6 также приведены гидродинамические параметры изученных образцов инулина сгенерированными этой программой.

Таблица 3.6. - Данные молекулярной массы и гидродинамические свойства образцов инулина, изолированных различными методами [4-А].

Инулин	t° С экс т.	Врем я экст., мин	R, %	M G, %	M _w , кДа	M _w / M _n	η _w , мл/г	Rh(w) нм
Инулин 1 (А)	110	20	4.05	8.4	1173.9	1.36	49.8	17.6
Инулин 1 (В)			95.47		2.89	2.9	2.8	0,8
Инулин 2 (А)	100	20	7.59	15. 2	1003.9	1.6	64.5	17,9
Инулин 2 (В)			91.14		2.7	7.9	3.7	0,9
Инулин 3 (А)	100	20	6.83	34. 0	1025.4	1.5	70.1	18.6
Инулин 3 (В)			39.36		3.4	3.2	4.0	1.0
Инулин ТМ	80	30	85.2	9.1	1.49	69.8	1.3	0.5

Как видно из анализа полученных результатов, экстрагированный полисахарид ФМ (Инулин 1, Инулин 2 и Инулин 3) элюируется двумя пиками (А и В). Хотя выход из ЭЖХ колонки первой фракции (пик -А) для образцов Инулин 1, Инулин 2 и Инулина 3 небольшой (4.05%, 7.59% и 6.83), а их молекулярная масса очень высокая (1003.2 кД). В то время как выход второй фракции (основная фракция инулина) для Инулин 1 и Инулин 2 максимальная, составляет 95,47 % и 91.14%. Молекулярная масса этих фракций низкая 2.89 кД и 2.7 кД соответственно для Инулина 1 и Инулина 2.

Из данных таблицы 3.6 также видно, что изменение гидродинамических свойств (характеристическая вязкость ([η]) и гидродинамический радиус Rh(w)) изученных полисахаридов (Инулин-1 и Инулин-2) аутентичны изменением молекулярной массы и профиля ММР.

Значения $[\eta]$ и $Rh(w)$ для Инулина 1 и Инулина-2 равны 2.8 мл/г; 0.8 нм, и 3.7 мл/г; 0.9 нм соответственно. И здесь нужно отметить изменение этих параметров для Инулина-ТМ и УФ-концентрата (Инулин-3): значение M_w , $([\eta])$ и $Rh(w)$ для этого образца выше, чем у исходного образца-Инулин-2, хотя значение M_w , остаётся почти одинаковым для высокомолекулярной фракции, равной 1025.4 кДа.

Для разделения фракций полисахаридов, нами, была применена мембранная фильтрация из полупроницаемых мембран УМП-50 с пропускающей способностью 50 кД по белку (альбумин).

Инулин 2 после концентрирования на УФ-мембране (Инулин 3), показал такие же параметры, но обладал несколько высоким значением M_w , причем выход второго пика заметно уменьшался (39.36%), из-за формирования ряда субфракций при концентрировании, который элюировался (извлекались из колонки хроматографа) при объеме 16.2, 17.8 и 20.7 мл. Попытка разделить высокомолекулярную фракцию от низкомолекулярной не позволило, нам, достичь соответствующих результатов, наоборот, выход обеих фракций уменьшился, образовалось большое количество агрегированных микрогелей (24%).

Инулин, полученный традиционным способом (Инулин ТМ) элюировался одним пиком со значением M_w 1.49кД, но с высоким показателем полидисперсности равной 69.8.

Дифференциальные кривые (зависимость логарифма массовой доли полисахарида от молекулярной массы) изученных образцов ясно демонстрируют изменения в профиле распределения ММР в изученных образцах (рис.3.5).

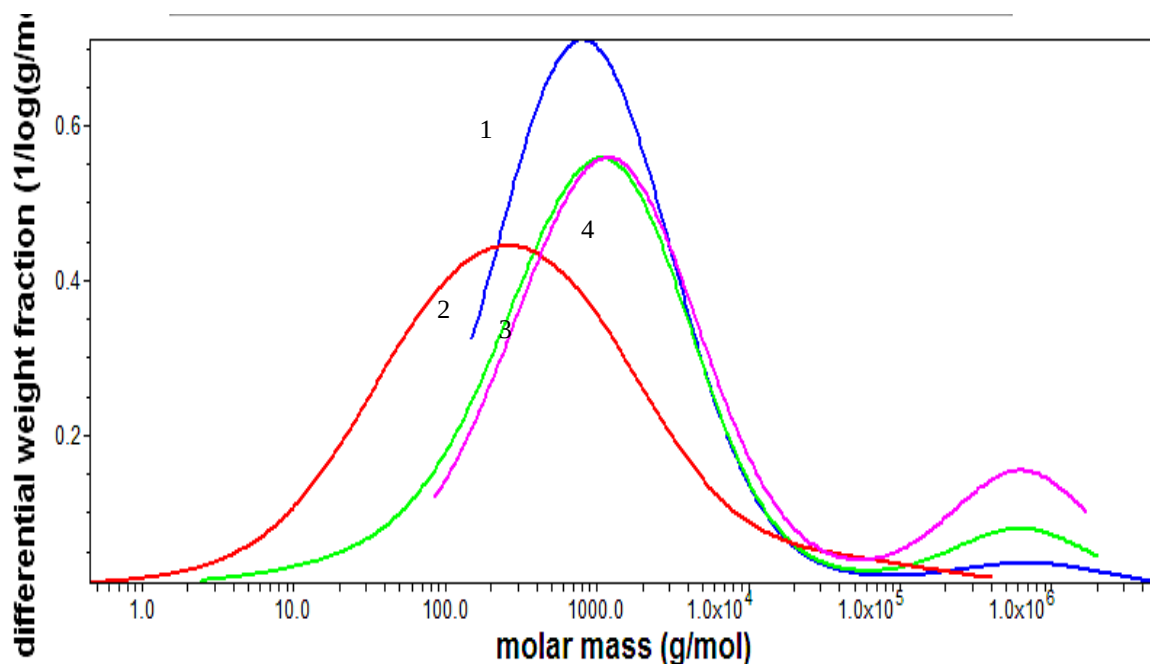


Рисунок 3.5. - Дифференциальные кривые (зависимость логарифма массовой доли полисахарида от молекулярной массы) экстрагированных полисахаридов из корнеклубней топинамбура, полученных с помощью программы ASTRA v 5.3.4.20 (Wyatt Technology) и Breeze (Waters): (1)-Инулин 1; (2) Инулин 2; (3) Инулин 3 и (4) Инулин -ТМ [4-А].

Как упоминалось во введении, СП инулина в значительной степени определяет его физико-химические свойства. Авторы [180] опубликовали обзор степени полимеризации различных типов инулина, который может служить источником информации. Однако следует отметить, что сама степень полимеризации упрощает реальность присутствия макромолекул в растворе, поскольку не учитывает распределение присутствующих фракций полисахаридов. Кроме того, во многих случаях CP_w и CP_n (или средние молекулярные массы и средние числовые молекулярные массы (M_w и M_n)) не отличаются друг от друга и идентифицируются только в том случае, если полимер является монодисперсным [180].

Для образца инулина полученного ТМ все параметры были низкими. Хотя молярная масса, форма, размер и вязкостные свойства инулина с низкой и высокой степенью полимеризации были описаны в литературе [181–183], указанные значения характеристической вязкости ($[\eta]$) не соответствовали

молекулярной конформации.

Согласно данным вышеприведённого исследования инулин как с низкой (4.0-6.5 КДа), так и с высокой молекулярной массой (1000 кДа) M_w показали высокие значения $[\eta]$ в диапазоне 9.1–17.0 мл/г, что не соответствует компактной глобулярной форме инулина с высокой молярной массой [176]. Глобулярные полимеры (например, глобулярные белки) действительно проявляют довольно низкие и сопоставимые значения $[\eta]$ менее чем 4.0 мл/г.

В работе [176], результаты гидратации инулина в растворе был связан с характеристической вязкостью $[\eta]$ инулина, чтобы установить форму агрегатов биополимера в водном растворе с использованием сканирующего туннельного (СТМ) микроскопа и динамическим светорассеиванием (ДС). Критическая концентрация агрегации инулина как в водно органическом, так и в солевом растворах оценивалась флуориметрическим методом. В растворе диметилсульфоксида с помощью СТМ были обнаружены палочковидные гетерогенные агрегаты средней длины 174 нм и шириной 56 нм. Это была стержнеобразная геометрия агрегатов, которые давали более высокое $[\eta]$, чем глобулярные частицы, образующиеся в водном растворе. Показано, что инулин цикория со средней молекулярной массой 4.468 кДа может самоорганизовываться в водной среде, как и многие блочные и графт-сополимеры, демонстрирующие критическую концентрацию агрегации. Он образует мягкие глобулярные супрамолекулярные сборки в водной среде. Не агрегированные инулиновые мономеры также предполагают глобулярную геометрию [65, 175, 176].

«...На рис. 3.6. представлены конформационные графики, произведенные с помощью программы ASTRA для образцов Инулина 2 и его концентрированной формы Инулина 3. Величина коэффициента **b**, определяющего конформацию макромолекулы в растворе [4-A], найденная из наклона кривой зависимости гидродинамического радиуса и молекулярной массы, имеет одинаково низкие значения для обоих инулинов»

[4-A].

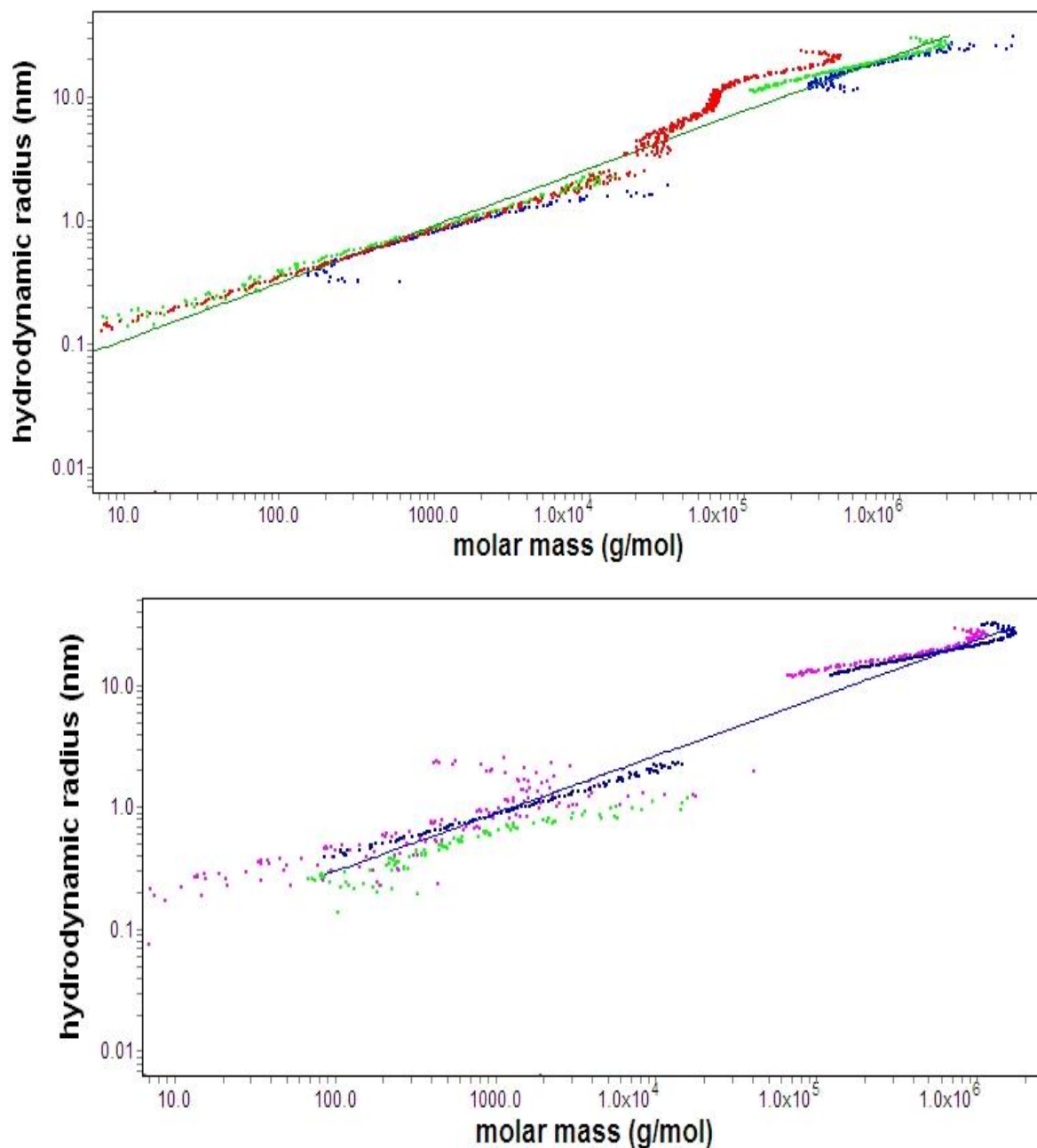


Рисунок 3.6. - Зависимость гидродинамического радиуса от молекулярной массы (конформационный график) для Инулина 2 ($b=0.46$) и Инулина 3 ($b=0.47$).

Среднее значение коэффициента b , рассчитанное для экстрагированных смесей инулина, показывает стерическую случайную спиральную структуру с удлиненной формой из-за высокой агломерации, о чем свидетельствуют высокие значения для кластерных микрогелей (таблица 3.5).

Френч [184] рассчитал теоретически приемлемую конформацию инулина в растворе и пришел к выводу, что приемлемая конформация аналогична конформации декстрана. Конечно, было отмечено, что представленная стереоструктура является лишь приемлемой стереоструктурой на основе определенных предположений и что существует много факторов, влияющих на предпочтительную структуру олигосахаридов. Авторы [185] включают проверку соответствия для обеспечения пригодности модели для моделирования и создания постоянной модели 180° . Важным является проявление, которое максимизирует гибкость молекулы [185].

В нескольких работах описано поведение широкого спектра конформации инулинов в растворе [65]. Приводится, что спиральная конформация возможна для олигофруктозы с СП 5. Эта конформация, однако, невозможна для инулинов с более высокой молекулярной массой из-за стерического препятствия [186].

3.3.3. Самоагрегирующие свойства инулина

Инулин также богат гидроксильными группами, которые способны принимать участие в супрамолекулярных взаимодействиях, в частности через водородные связи. Эти взаимодействия могут быть как межмолекулярными, так и внутримолекулярными, хотя моделирование структуры инулина на основе рентгеноструктурного анализа твердой формы предполагает, что кристаллический инулин имеет только межмолекулярные водородные связи между цепями. В этом контексте гелеобразование инулина описывается как гель-частицы, в которых трехмерные сети образуют агрегированные коллоидные частицы инулина [65].

Из полученных, нами, результатов (дифференциальные кривые ММР-рис.3.5 и конформационный график – рис. 3.6) кажется вероятным, что некоторая значительная самоорганизация начинается с низкомолекулярных фракций инулина, которые, как предполагается, благоприятствуют циклическую или спиральную конформацию [2-А, 4-А]. Было показано [65,

2-А, 4-А], что олигомеры с СП 6-8 имеют организованные, хотя и менее четко определенные конформации, и это изменение в структуре отвечает за необычную последовательность хроматографического элюирования в этом диапазоне СП. Олигомеры инулина с СП 9 и выше образуют регулярную спиральную структуру, которая, как утверждается, является как пяти-, так и шестикратной спиралями [65, 2-А]. Правосторонняя шестигранная спиральная структура сейчас стала общепринятой. Спиральные структуры каждой цепи могут объединяться в ряд изоформ, природа которых зависит от кинетики и термодинамики образования [65].

В природе существует несколько типов инулина, которые различаются по степени полимеризации и молекулярной массы в зависимости от источника, времени сбора и условий обработки [59, 65, 170, 171].

Инулин в растворе проявляет различные структурные формы. Как было отмечено авторами [65, 171] при осаждении инулина спиртом образуется β -форма, а в водном растворе при комнатной температуре или ниже он находится в форме α -инулина [65, 171]. На практике было обнаружено, что как α -, так и β -формы являются нестабильными конформациями в воде, вскоре превращаясь в новую третью форму (γ), которая была в значительной степени нерастворима при температуре тела. Это свойство допускает ряд сильных биологических эффектов [187] у макромолекулы инулина. Четвертая изоформа инулина - δ [2-А], которая еще более активна, теперь идентифицирована. Все эти изоформы растворимы в концентрациях 10-15 мас.% при температуре ниже 75 °С, что позволяет их легко очищать для клинического использования с минимальной степенью гидролиза.

Структурные последствия существования таких изоформ представляют значительный интерес [141, 2-А]. В воде инулин претерпевает обратное превращение из более растворимой в менее растворимую форму наподобие ретроградного (структурно реорганизованного) крахмала [188].

«...Исследование свойств этих уникальных по структуре инулинов может значительно расширить спектр их применения. В литературе данные по молекулярно-массовому распределению (ММР) инулинов немногочисленны [65, 189]. В связи с этим, представлял интерес исследования ММР инулинов разного происхождения из местного сырья с целью дальнейшего изучения механизма их самоорганизации в разбавленном и концентрированном растворах» [65, 189].

Для исследования использовали три образца инулина: Инулин А – инулин из топинамбура (*Chongqing Joywin Natural Products Co Ltd.*, Китай), Инулин В, полученный из корнеклубней топинамбура (*Helianthus tuberosus*) местного сорта по методике [179] и Инулин С- получен из корней цикория (*Cichorium*) водной экстракцией по классической методике [59].

Предварительно растворитель – дистиллированная вода и осадитель – этанол, очищали пропусканием через тонкопористую мембрану (0.2 мкм, PVDF, Millipore Corp., США).

В первом эксперименте в 0.5 г образца каждого инулина добавляли по 50 мл воды и перемешивали до полного растворения. Во втором эксперименте в 0.75 г образца каждого инулина добавляли по 50 мл воды и также перемешивали до полного растворения.

Затем растворы центрифугировали при 6000 об/мин. После удаления механических примесей и осадка концентрации растворов составили 0,99% для инулина А; 0,95% – для инулина В 1 и 2-го эксперимента; 1,47, 1,43 и 1,45% для инулинов А, В, и С соответственно 2-го эксперимента. В кювету турбидиметра добавляли по 30 мл чистого раствора инулина, постепенно добавляли осадитель (95%-й спирт) и измеряли мутность в нефелометрических единицах (NTU).

Титрование мутности проводилось с помощью лабораторного турбидиметра 2100 AN IS (HACH, США) при температуре $20 \pm 0,3^{\circ}\text{C}$. Сначала проводили предварительное сырое титрование. 30 мл раствора инулина с концентрацией 0,96% помещали в магнитную мешалку Variomag

(Thermo Scientific, США) и титровали при перемешивании до почти полного титрования 96%-ным спиртовым раствором. Появлялось выраженное помутнение. Был измерен объем осадителя, использованного для грубого титрования.

Затем проводилось точное титрование. Для этого исходный раствор инулина переливали в стакан с объемом, эквивалентным объему измерительной ячейки, помещали на магнитную мешалку и при непрерывном перемешивании добавляли фиксированный объем осадителя - 96% этанола. После каждого добавления осадителя содержимое стакана переливали в герметичный стандартный контейнер, который помещали в измерительную ячейку турбидиметра и измеряли мутность в NTU. Измерения проводились путем добавления осадителя до тех пор, пока мутность раствора не оставалась неизменной. Обработка полученных данных проводилась в соответствии с методами, описанными в работе [5-А].

В табл. 3.6 в качестве примера приведены данные турбидиметрического титрования растворов инулина и расчет параметров для построения интегральных и дифференциальных кривых молекулярно-массового распределения образцов инулина. Расчет параметров турбидиметрического титрования растворов инулина и расчет интегральных и дифференциальных данных молекулярно-массового распределения остальных образцов приводится в таблицах 3.7. – 3.11

Таблица 3.7. - Результаты турбидиметрического титрования раствора инулина А, С=0.99% [5-А].

Инулин 1 (из Америки) 0,99 % раствор									
№	V, мл	$Y=V/V_0-V$	ΔY	$1-Y$	T.NTU	$T_1=T-T_0$	$T_2=T_1/1-Y$	ΔT_2	$\Delta T_2/\Delta Y$
1	1	0,032		0,968	2,25	0,9	0,88		
2	2	0,063	0,030	0,938	2,05	0,7	0,69	0,19	-6,117
3	5	0,143	0,080	0,857	1,65	0,3	0,29	0,40	-4,999
4	7	0,189	0,046	0,811	1,76	0,4	0,44	0,15	3,288
5	9	0,231	0,042	0,769	1,45	0,1	0,07	0,38	-9,115

6	11	0,268	0,038	0,732	1,50	0,1	0,14	0,07	1,910
7	13	0,302	0,034	0,698	1,60	0,2	0,29	0,15	4,408
8	14	0,318	0,016	0,682	1,82	0,4	0,62	0,33	20,770
9	15	0,333	0,031	0,667	1,67	0,3	0,41	0,12	3,816
10	17	0,362	0,028	0,638	1,48	0,1	0,13	0,28	-9,858
11	19	0,388	0,026	0,612	1,62	0,2	0,36	0,23	8,982
12	24	0,444	0,057	0,556	2,20	0,8	1,44	1,08	19,063
13	26	0,464	0,020	0,536	2,90	1,5	2,80	1,36	68,544
14	28	0,483	0,018	0,517	2,44	1,0	2,01	0,79	-42,729
15	30	0,500	0,017	0,500	2,47	1,1	2,14	0,13	7,501
16	35	0,538	0,038	0,462	2,67	1,3	2,75	0,61	15,903
17	40	0,571	0,033	0,429	3,08	1,7	3,92	1,17	35,439
18	45	0,600	0,029	0,400	4,40	3,0	7,50	3,58	125,300

Дифференциальные кривые турбидиметрического титрования образцов инулина А и В даются на рисунках 3.7. и 3.8 (где V – объем добавленного осадителя; T – мутность раствора полимера; T_0 – мутность прозрачного раствора полимера, равная 1.55 NTU; V_0 – начальный объем раствора полимера, равный 35.23 мл; γ – объемная доля осадителя; T_1 – мутность, обусловленная выделенным полимером; T_2 – мутность с поправкой на разбавление раствора).

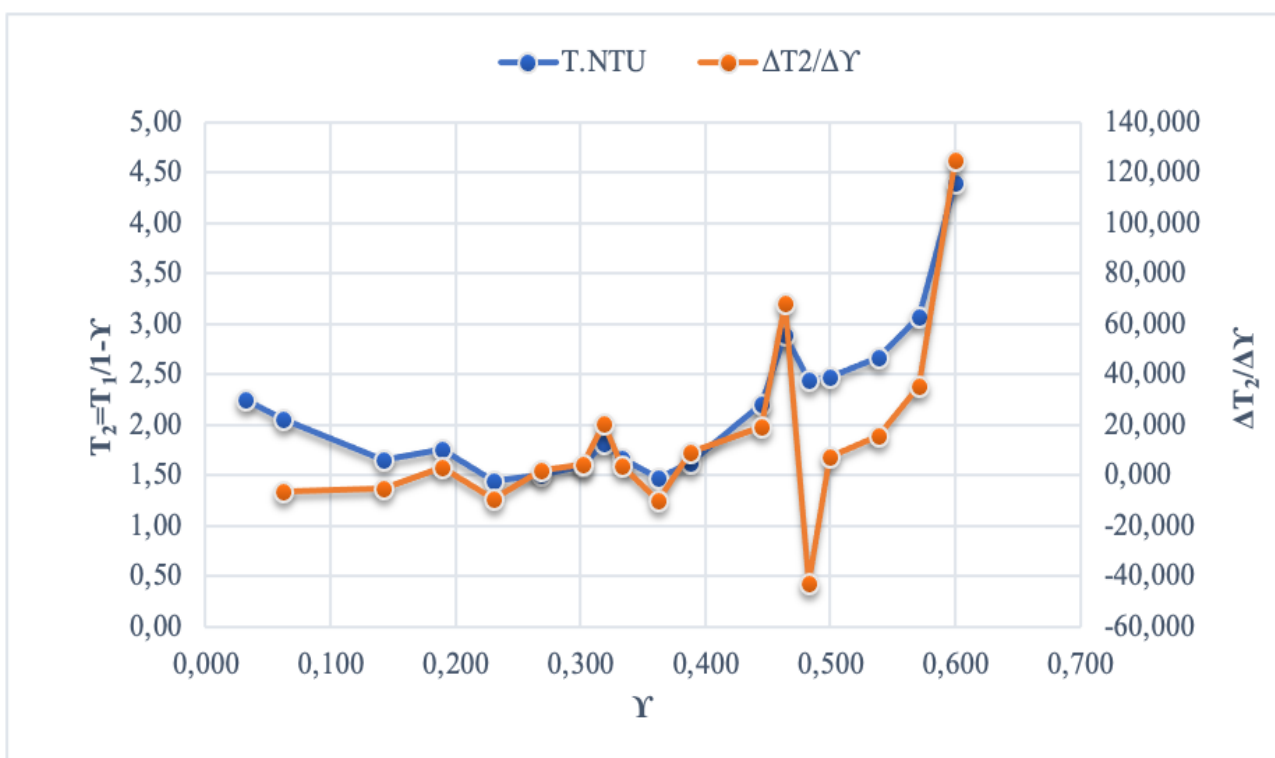


Рисунок 3.7. - Интегральная (T2) и дифференциальная ($\Delta T2/\Delta Y$) кривые турбидиметрического титрования раствора инулина А (концентрация инулина 0.99%) [5-А].

Таблица 3.8. - Результаты турбидиметрического титрования раствора инулина В, С=0.95% [5-А].

Инулин 2 (местный) 0,95 % раствор									
№	V, мл	Y=V/V0+ V	ΔY	1-Y	T.NTU	T1=T- T0	T2=T1/1 -Y	$\Delta T2$	$\Delta T2/\Delta Y$
1	1	0,032		0,968	44,0	42,0	43,40		
2	3	0,091	0,059	0,909	40,0	38,0	41,80	-1,60	-27,280
3	5	0,143	0,052	0,857	35,0	33,0	38,50	-3,30	-63,525
4	7	0,189	0,046	0,811	30,1	28,1	34,66	-3,84	-82,952
5	9	0,231	0,042	0,769	28,0	26,0	33,80	-0,86	-20,603
6	10	0,250	0,019	0,750	26,3	24,3	32,40	-1,40	-72,800
7	11	0,268	0,018	0,732	25,0	23,0	31,43	-0,97	-52,844
8	12	0,286	0,017	0,714	23,0	21,0	29,40	-2,03	-116,713
9	13	0,302	0,017	0,698	24,5	22,5	32,25	2,85	171,570
10	14	0,318	0,016	0,682	30,9	28,9	42,39	10,14	639,286
11	15	0,333	0,015	0,667	38,0	36,0	54,00	11,61	766,480
12	16	0,348	0,014	0,652	40,9	38,9	59,65	5,65	389,620
13	17	0,362	0,014	0,638	33,5	31,5	49,35	-10,30	-742,046
14	18	0,375	0,013	0,625	33,0	31,0	49,60	0,25	18,800
15	19	0,388	0,013	0,612	32,6	30,6	49,98	0,38	29,792
16	20	0,400	0,012	0,600	30,0	28,0	46,67	-3,31	-270,589
17	21	0,412	0,012	0,588	28,9	26,9	45,67	-0,99	-84,433
18	22	0,423	0,011	0,577	27,4	25,4	43,97	-1,70	-150,673
19	27	0,474	0,051	0,526	25,9	23,9	45,35	1,38	27,225
20	30	0,500	0,026	0,500	24,4	22,4	44,73	-0,61	-23,307
21	32	0,516	0,016	0,484	22,9	20,9	43,12	-1,61	-99,751
22	34	0,531	0,015	0,469	36,0	34,0	72,53	29,41	1944,90
23	36	0,545	0,014	0,455	38,5	36,5	80,30	7,77	546,773
24	38	0,559	0,013	0,441	36,0	34,0	77,07	-3,23	-241,853
25	40	0,571	0,013	0,429	34,0	32,0	74,67	-2,40	-190,400

26	42	0,583	0,012	0,417	30,6	28,6	68,72	-5,95	-499,520
27	45	0,600	0,017	0,400	31,0	29,0	72,50	3,78	226,800
28	47	0,610	0,010	0,390	32,0	30,0	77,00	4,50	433,125
29	48	0,615	0,005	0,385	33,0	31,0	80,60	3,60	720,720
30	50	0,625	0,010	0,375	34,0	32,0	85,33	4,73	492,267

(где V – объем добавленного осадителя; T – мутность раствора полимера; T_0 – мутность прозрачного раствора полимера, равная 1.55 NTU; V_0 – начальный объем раствора полимера, равный 35.23 мл; γ – объемная доля осадителя; T_1 – мутность, обусловленная выделенным полимером; T_2 – мутность с поправкой на разбавление раствора).

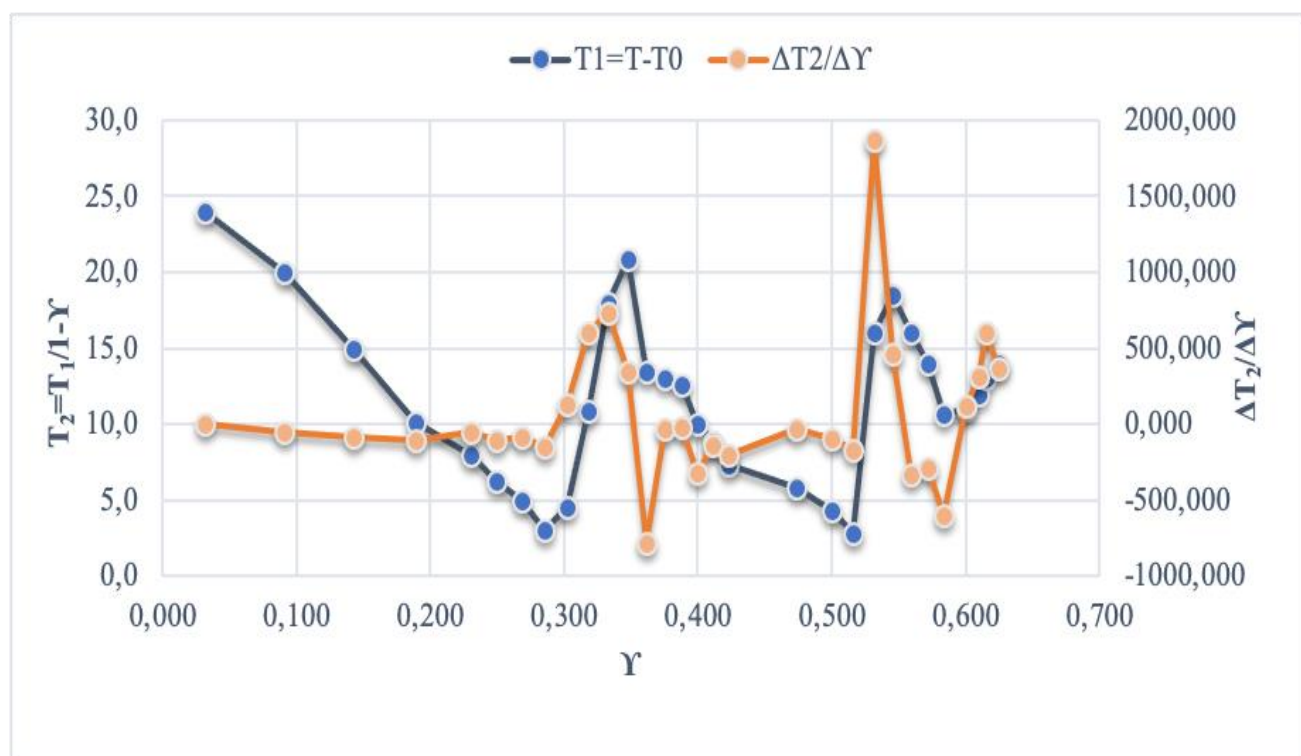


Рисунок 3.8. - Интегральная (T_2) и дифференциальная ($\Delta T_2/\Delta \gamma$) кривые турбидиметрического титрования раствора инулина В (концентрация инулина 0.95%)[5-А].

«...Как видно из рис. 3.7, кривая зависимости мутности раствора инулина от объемной доли осадителя (интегральная кривая турбидиметрического титрования) имеет пологую форму, что указывает на широкое ММР макромолекул инулина А. В то время у интегральной кривой

турбидиметрического титрования образцов как инулина А так и инулина В (рис.3.8) наблюдаются два максимума, что указывает на бимодальное и широкое молекулярно-массовое распределение макромолекул образцов инулина из корнеклубней топинамбура» [5-А].

«...По дифференциальным кривым турбидиметрического титрования образцов инулина А (рис. 3.7) и В (рис.3.8) можно выявить, что у двух образцов инулина присутствуют три макромолекулярные фракции (изоформы), которые в отдельности имеют узкое молекулярно-массовое распределение» [5-А].

Поскольку в обоих образцах инулина наблюдались и небольшие пики в профиле кривых дифференциального турбидиметрического титрования (далее кривые ММР) было принято решение увеличить концентрацию инулина в исходном растворе.

Как и видно из профиля кривых ММР инулинов, представленных на рис. 3.9 и 3.10 чётко видно 4 пика, указывающие образование четырёх молекулярных изоформ макромолекулы инулина с увеличением его концентрации.

Из анализа кривых ММР предполагается, что первый небольшой пик, при объемной доли осадителя 0.15-0.20, во всех образцах инулина относится к высокомолекулярной фракции полисахарида и скорее относится к пектину.

Таблица 3.9. - Результаты турбидиметрического титрования раствора инулина А, С=1,47% [5-А].

Инулин 1 (из Америки) 1,47 % раствор									
№	V, мл	$Y=V/V_0+V$	ΔY	1-Y	T(NTU)	T1=T-T0	T2=T1/1-Y	$\Delta T2$	$\Delta T2/\Delta Y$
1	2	0,063		0,938	4,56	2,6	2,78		
2	3	0,091	0,028	0,909	4,56	2,6	2,87	0,09	3,06
3	4	0,118	0,027	0,882	4,67	2,7	3,08	0,21	7,92
4	5	0,143	0,025	0,857	5,06	3,1	3,63	0,55	21,64
5	6	0,167	0,024	0,833	4,70	2,8	3,30	-0,33	-13,79
6	7	0,189	0,023	0,811	4,74	2,8	3,44	0,14	6,26
7	8	0,211	0,021	0,789	4,77	2,8	3,57	0,13	6,14
8	9	0,231	0,020	0,769	4,71	2,8	3,59	0,02	0,79
9	10	0,250	0,019	0,750	4,75	2,8	3,73	0,15	7,56
10	11	0,268	0,018	0,732	5,58	3,6	4,96	1,23	67,11

11	12	0,286	0,017	0,714	4,27	2,3	3,25	-1,71	-98,33
12	13	0,302	0,017	0,698	4,26	2,3	3,31	0,06	3,79
13	14	0,318	0,016	0,682	4,29	2,3	3,43	0,12	7,63
14	15	0,333	0,015	0,667	4,62	2,7	4,01	0,57	37,82
15	16	0,348	0,014	0,652	5,95	4,0	6,13	2,13	146,86
16	17	0,362	0,014	0,638	4,04	2,1	3,27	-2,86	-206,04
17	18	0,375	0,013	0,625	3,41	1,5	2,34	-0,94	-70,56
18	19	0,388	0,013	0,612	2,43	0,5	0,78	-1,55	-121,68
19	20	0,400	0,012	0,600	3,89	1,9	3,23	2,45	200,03
20	21	0,412	0,012	0,588	2,21	0,3	0,44	-2,79	-237,26
21	22	0,423	0,011	0,577	2,08	0,1	0,23	-0,22	-19,15
22	23	0,434	0,011	0,566	1,95	0,0	0,00	-0,23	-20,70
23	24	0,444	0,010	0,556	2,06	0,1	0,20	0,20	18,89
24	25	0,455	0,010	0,545	2,09	0,1	0,26	0,06	5,81
25	26	0,464	0,010	0,536	2,09	0,1	0,26	0,00	0,48
26	27	0,474	0,009	0,526	2,14	0,2	0,36	0,10	10,60
27	29	0,492	0,018	0,508	6,3	4,4	8,56	8,19	459,27
28	30	0,500	0,008	0,500	5,35	3,4	6,80	-1,76	-207,09
29	32	0,516	0,016	0,484	4,65	2,7	5,58	-1,22	-75,64
30	34	0,531	0,015	0,469	3,28	1,3	2,84	-2,74	-181,38
31	36	0,545	0,014	0,455	2,94	1,0	2,18	-0,66	-46,42
32	38	0,559	0,013	0,441	3,31	1,4	3,08	0,90	67,67
33	40	0,571	0,013	0,429	4,94	3,0	6,98	3,89	308,92
34	41	0,577	0,006	0,423	4,63	2,7	6,34	-0,63	-105,03
35	42	0,583	0,006	0,417	4,57	2,6	6,29	-0,05	-9,32
36	44	0,595	0,011	0,405	5,03	3,1	7,60	1,31	116,27
37	45	0,600	0,005	0,400	5,28	3,3	8,33	0,73	134,62
38	46	0,605	0,005	0,395	5,11	3,2	8,01	-0,32	-60,74
39	48	0,615	0,010	0,385	5,38	3,4	8,92	0,91	90,17
40	50	0,625	0,010	0,375	6,36	4,4	11,76	2,84	295,57
41	52	0,634	0,009	0,366	6,04	4,1	11,18	-0,58	-63,49

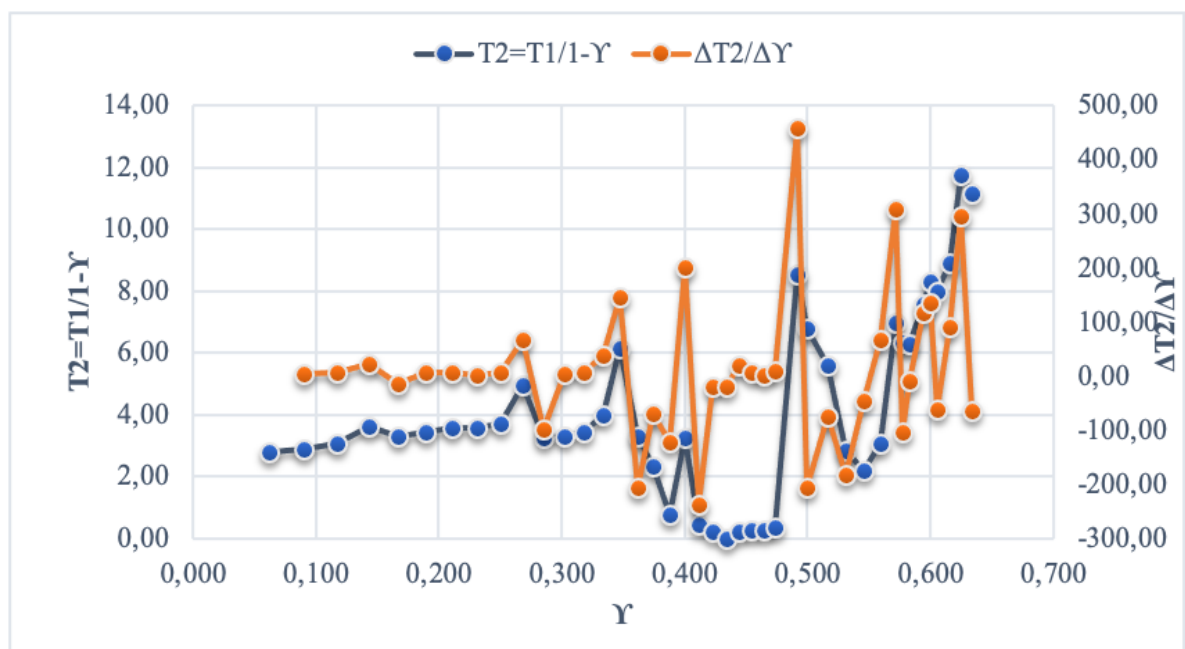


Рисунок 3.9. - Интегральная (T2) и дифференциальная ($\Delta T2/\Delta Y$) кривые турбидиметрического титрования раствора инулина А (концентрация инулина 1.47 %) [5-А].

На рис. 3.11 представлены результаты турбидиметрического титрования раствора инулина С при повышенной концентрации (1.45%). Этот образец получен водной экстракцией по классической методике из местного цикория.

В данном образце проявляются только два пика в области низкомолекулярных фракций инулина. При этом последняя фракция показала очень высокое значение мутности, превышавший показатель мутности инулина А и В на порядок.

Таблица 3.10. - Результаты турбидиметрического титрования раствора инулина В, С=1,43% [5-А].

Инулин 2 (местный) 1,43 % раствор									
№	V, мл	$Y=V/V_0+V$	ΔY	1-Y	T.NTU	T1=T-T0	T2=T1/1-Y	$\Delta T2$	$\Delta T2/\Delta Y$
1	2	0,063		0,938	52,2	20,2	21,55		
2	3	0,091	0,028	0,909	53,3	21,3	23,43	1,88	66,29
3	4	0,118	0,027	0,882	48,5	16,5	18,70	-4,73	-176,90
4	5	0,143	0,025	0,857	49,1	17,1	19,95	1,25	49,58
5	6	0,167	0,024	0,833	48,0	16,0	19,20	-0,75	-31,50
6	7	0,189	0,023	0,811	52,4	20,4	25,16	5,96	264,62
7	8	0,211	0,021	0,789	45,5	13,5	17,10	-8,06	-377,75
8	9	0,231	0,020	0,769	45,8	13,8	17,94	0,84	41,50
9	10	0,250	0,019	0,750	47,3	15,3	20,40	2,46	127,92
10	11	0,268	0,018	0,732	49,1	17,1	23,37	2,97	162,36
11	12	0,286	0,017	0,714	38,6	6,6	9,24	- 14,13	-811,06
12	13	0,302	0,017	0,698	39,9	7,9	11,32	2,08	125,42
13	14	0,318	0,016	0,682	42,7	10,7	15,69	4,37	275,60
14	15	0,333	0,015	0,667	43,3	11,3	16,95	1,26	82,94
15	16	0,348	0,014	0,652	36,4	4,4	6,75	- 10,20	-704,03
16	17	0,362	0,014	0,638	33,6	1,6	2,51	-4,24	-305,56
17	18	0,375	0,013	0,625	32,4	0,4	0,64	-1,87	-140,37
18	19	0,388	0,013	0,612	32,6	0,6	0,98	0,34	26,66
19	20	0,400	0,012	0,600	32,6	0,6	1,00	0,02	1,63
20	22	0,423	0,023	0,577	32,4	0,4	0,69	-0,31	-13,29
21	24	0,444	0,021	0,556	32,8	0,8	1,44	0,75	34,94
22	26	0,464	0,020	0,536	32,2	0,2	0,37	-1,07	-53,76
23	28	0,483	0,018	0,517	32,6	0,6	1,16	0,79	42,58
24	30	0,500	0,017	0,500	33,3	1,3	2,60	1,44	83,52

25	31	0,508	0,008	0,492	34,3	2,3	4,68	2,08	253,35
26	32	0,516	0,008	0,484	35,5	3,5	7,23	2,56	322,31
27	33	0,524	0,008	0,476	37,5	5,5	11,55	4,32	562,03
28	34	0,531	0,007	0,469	38,5	6,5	13,87	2,32	311,36
29	35	0,538	0,007	0,462	39,6	7,6	16,47	2,60	360,53
30	36	0,545	0,007	0,455	40	8,0	17,60	1,13	162,07
31	37	0,552	0,007	0,448	40,4	8,4	18,76	1,16	170,98
32	38	0,559	0,007	0,441	40,9	8,9	20,17	1,41	214,64
33	39	0,565	0,006	0,435	40,7	8,7	20,01	-0,16	-25,55
34	40	0,571	0,006	0,429	40,5	8,5	19,83	-0,18	-28,44
35	41	0,577	0,006	0,423	39,8	7,8	18,46	-1,37	-227,52
36	43	0,589	0,012	0,411	38,7	6,7	16,30	-2,16	-186,30
37	45	0,600	0,011	0,400	37,7	5,7	14,25	-2,05	-187,37
38	47	0,610	0,010	0,390	37,5	5,5	14,12	-0,13	-12,83
39	49	0,620	0,010	0,380	37,1	5,1	13,43	-0,69	-69,62
40	51	0,630	0,009	0,370	36,9	4,9	13,23	-0,20	-21,33
41	52	0,634	0,005	0,366	37,5	5,5	15,03	1,80	399,26

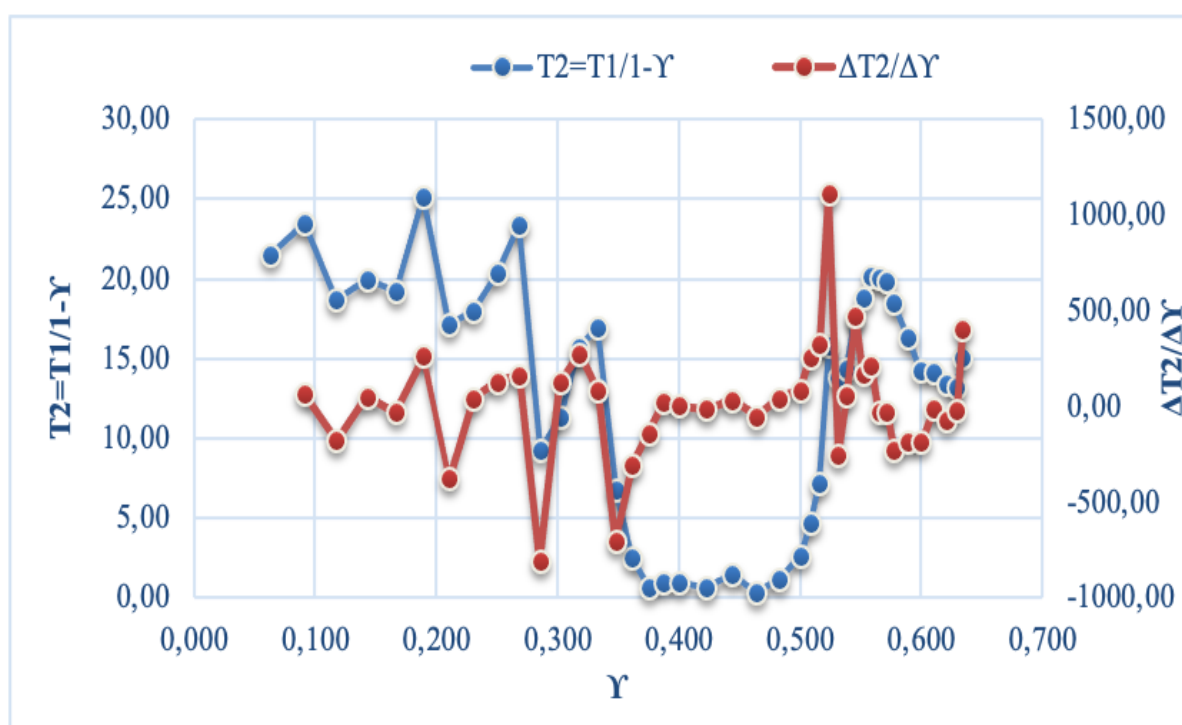


Рисунок 3.10. - Интегральная (T_2) и дифференциальная ($\Delta T_2/\Delta Y$) кривые турбидиметрического титрования раствора инулина В (концентрация инулина 1.43 %) [5-А].

Таблица 3.11. - Результаты турбидиметрического титрования раствора инулина С, С=1.45% [5-А].

Инулин 3 (из цикория) 1,45 % раствор									
№	V, мл	$Y=V/V_0+V$	ΔY	1-Y	T.NTU	$T_1=T-T_0$	$T_2=T_1/1-Y$	ΔT_2	$\Delta T_2/\Delta Y$

1	2	0,063		0,938	41,2	18,7	19,95		
2	3	0,091	0,028	0,909	39,3	16,8	18,48	-1,47	-51,63
3	4	0,118	0,027	0,882	38,1	15,6	17,68	-0,80	-29,92
4	5	0,143	0,025	0,857	36,3	13,8	16,10	-1,58	-62,67
5	6	0,167	0,024	0,833	36,9	14,4	17,28	1,18	49,56
6	7	0,189	0,023	0,811	36,7	14,2	17,51	0,23	10,36
7	8	0,211	0,021	0,789	43,3	20,8	26,35	8,83	413,99
8	9	0,231	0,020	0,769	32,5	10,0	13,00	- 13,35	-659,33
9	10	0,250	0,019	0,750	31,1	8,6	11,47	-1,53	-79,73
10	11	0,268	0,018	0,732	30,2	7,7	10,52	-0,94	-51,57
11	12	0,286	0,017	0,714	35,6	13,1	18,34	7,82	448,68
12	13	0,302	0,017	0,698	32,4	9,9	14,19	-4,15	-249,83
13	14	0,318	0,016	0,682	27,7	5,2	7,63	-6,56	-413,93
14	15	0,333	0,015	0,667	27,1	4,6	6,90	-0,73	-47,96
15	16	0,348	0,014	0,652	26,6	4,1	6,29	-0,61	-42,32
16	17	0,362	0,014	0,638	25,7	3,2	5,01	-1,27	-91,76
17	18	0,375	0,013	0,625	26,1	3,6	5,76	0,75	56,15
18	19	0,388	0,013	0,612	24,9	2,4	3,92	-1,84	-144,26
19	20	0,400	0,012	0,600	24,3	1,8	3,00	-0,92	-75,13
20	22	0,423	0,023	0,577	23,1	0,6	1,04	-1,96	-84,93
21	24	0,444	0,021	0,556	24,2	1,7	3,06	2,02	94,54
22	25	0,455	0,010	0,545	23,5	1,0	1,83	-1,23	-121,44
23	27	0,474	0,019	0,526	22,5	0,0	0,00	-1,83	-95,79
24	29	0,492	0,018	0,508	24,9	2,4	4,72	4,72	264,56
25	30	0,500	0,008	0,500	26,5	4,0	8,00	3,28	387,04
26	31	0,508	0,008	0,492	31,6	9,1	18,50	10,50	1281,41
27	32	0,516	0,008	0,484	23,7	1,2	2,48	- 16,02	-2020,01
28	33	0,524	0,008	0,476	23,5	1,0	2,10	-0,38	-49,48
29	34	0,531	0,007	0,469	22,7	0,2	0,43	-1,67	-224,90
30	35	0,538	0,007	0,462	66,9	44,4	96,20	95,77	13280,57
31	36	0,545	0,007	0,455	22,2	-0,3	-0,66	- 96,86	- 13850,98
32	38	0,559	0,013	0,441	31,6	9,1	20,63	21,29	1592,24
33	40	0,571	0,013	0,429	26,2	3,7	8,63	- 11,99	-951,47
34	42	0,583	0,012	0,417	21,8	-0,7	-1,68	- 10,31	-866,32
35	44	0,595	0,011	0,405	19,3	-3,2	-7,89	-6,21	-551,74
36	46	0,605	0,011	0,395	19,1	-3,4	-8,61	-0,72	-67,49
37	48	0,615	0,010	0,385	19,4	-3,1	-8,06	0,55	54,67
38	50	0,625	0,010	0,375	19,9	-2,6	-6,93	1,13	117,17

39	52	0,634	0,009	0,366	19,6	-2,9	-7,93	-0,99	-108,60
----	----	-------	-------	-------	------	------	-------	-------	---------

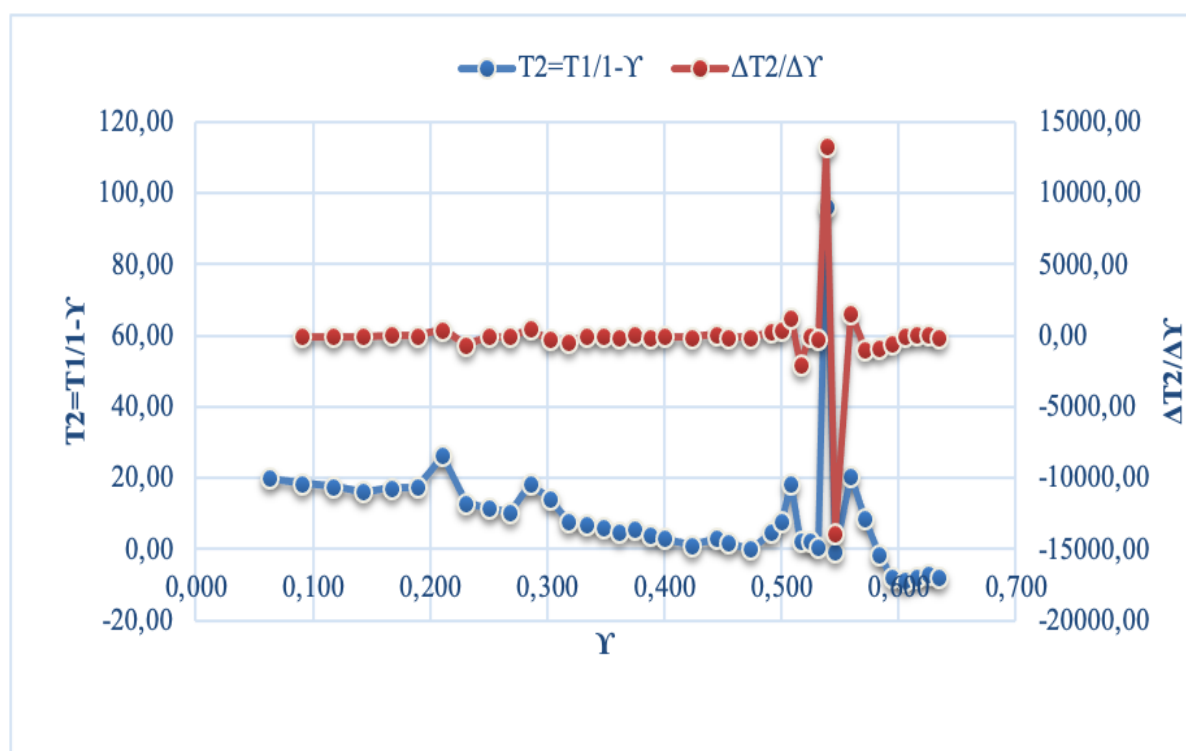


Рисунок 3.11. - Интегральная (T_2) и дифференциальная ($\Delta T_2/\Delta \gamma$) кривые турбидиметрического титрования раствора инулина С (концентрация инулина 1.45 %) [5-А].

Для более точной оценки изменения мутности от объемной доли осадителя мы привели значения остальных максимумов (кроме начального пика) на кривых турбидиметрического титрования инулина А и инулина В при двух изученных концентрациях в табл. 3.12– 3.14.

Таблица 3.12. - Значения параметров турбидиметрического титрования основных пиков инулина А, взятых из кривых интегральных и дифференциальных при разных концентрациях (%) [5-А].

Параметры ТДТ	Пик 2		Пик 3		Пик 4		Пик 5	
	C=0.90	C=1.47	C=0.90	C=1.47	C=0.90	C=1.47	C=0.90	C=1.47
γ	0.33	0.348	-	0.40	0.46	0.49	-	0.57
T2	2.80	6.13	-	3.23	2.80	8.56	-	6.48
$\Delta T_2/\Delta \gamma$	20.8	147.0	-	200.0	68.5	459.0	-	308.0

Таблица 3.13. - Значения параметров турбидиметрического титрования основных пиков инулина В, взятых из интегральных и дифференциальных кривых при разных концентрациях (%) [5-А].

Параметры ТДТ	Пик 2		Пик 3		Пик 4		Пик 5	
	C=0.90	C=1.47	C=0.90	C=1.47	C=0.90	C=1.47	C=0.90	C=1.47
γ	-	0.27	0.35	0.38	-	-	0.53	0.52
T2	-	23.3	20.9	17.3	-	-	34.0	16.5
$\Delta T2/\Delta Y$	-	162	726.0	275.0	-	-	1865.0	1108.0

Таблица 3.14. - Значения параметров турбидиметрического титрования основных пиков инулина С, взятых из кривых интегральных и дифференциальных при разных концентрациях (%) [5-А].

Параметры ТДТ	Пик 2		Пик 3		Пик 4		Пик 5	
	C=0.90	C=1.47	C=0.90	C=1.47	C=0.90	C=1.47	C=0.90	C=1.47
γ	-	0.22	-	0.28	-	0.51	-	0.54
T2	-	26.4	-	19.4	-	18.5	-	96.2
$\Delta T2/\Delta Y$	-	414.0	-	449.0	-	2020	-	13280.0

Как и ожидалось, в корреляции с увеличением концентрации происходит самоорганизация макромолекул, что приводит к более мутному раствору в точке максимума (рис. 3.9 и табл. 3.12) и появлению новых изоформ. Более того, было обнаружено, что полученные агрегаты более коллоидные (по значению $\Delta T2/\Delta Y$) при более высокой начальной концентрации раствора, что также влияет на конечную морфологию макромолекулы.

Однако из анализа значений параметров в зависимости от объемной доли осадителя для инулина В наблюдается иная картина. С увеличением концентрации происходит уменьшение мутности вблизи максимумов (см. пик 3 и 5), значение T2 заметно уменьшается для пиков 3 и 5 (20.9–17.3 NTU

и 34.0–16.5 NTU соответственно). Это говорит о том, что с увеличением концентрации полимера, если в инулине А происходит рост агрегатов для изоформы 3 и 5, то в инулине В это происходит в обратном направлении, то есть растворение агрегатов и превращение изоформ с высокой молярной массой в таковых с низкими молекулярными массами.

Как видно из значения параметров мутности (табл.3.10) в образце инулина С все четыре изоформы инулина четко выделяются. Особенно, значение параметров мутности последняя низкомолекулярная фракция инулина превышает таковым параметрам для инулина А в 40 и инулина В в 10 раз.

Изоформы инулина составляют возрастающую серию в последовательности β - α - γ - δ , в которой более низкие изоформы превращаются в более высокие при определённых температурах, и все высшие изоформы могут быть возвращены в более низкие путем полного растворения и перекристаллизации. В данном случае последовательность изоформ (β - α - γ - δ) соответствует максимумам 2-5 в обратном порядке (т.е. 5-4-3-2) в кривые ММР изученных образцов инулина.

Таким образом, новые структуры образуются за счет обратимого связывания посредством водородных связей спиртовых групп, а не ковалентными связями, и более высокие изоформы имеют более высокое среднее значение молярной массы [188-191].

Фруктаны смешанной структуры с высокой степенью разветвленности обеспечивают высокую растворимость в водной среде и не осаждаются при низких температурах в воде, в отличие от растворов инулина, которые нестабильны и выпадают в осадок [192]. Результаты, приведённые в работе [193], показывают быстрые изменения в распределении полимера инулина в разные сроки сбора урожая, указывая на то, что углеводный состав и распределение полимера инулина в клубнях сильно зависят от профиля почвы, климата и погодных условий (температуры и количества осадков) в течение вегетационного периода. Знание этих свойств для разных видов

растений позволяет использовать разные культуры в пищевых и медицинских целях.

В предыдущей работе [4-А], были исследованы гидродинамические свойства и молекулярные массы двух образцов инулина топинамбура (полученные сравнительными: флэш-экстракционным методом (ФМ) при высокой температуре за короткое и более длительное время при традиционном методе (ТМ) в нейтральной среде) в разбавленном растворе.

Из полученных результатов анализа ММР методом высокоэффективной эксклюзионной жидкостной хроматографии (ВЭЭЖХ) был сделан вывод о самоагрегирующих свойствах этого биополимера. Как показали профили кривых ВЭЭЖХ образца инулина В, в очень разбавленном растворе (0.002%) имеются две изоформы: низкомолекулярный инулин и высокомолекулярный агрегат, который представляет собой изоформы β и δ . При их разделении на УФ-мембране в растворе ретентата формировались скорее и другие изоформы (α , γ и δ), при чём образовывалось большое количество высокоагрегированных нерастворимых в воде микрогелей. В то время как инулин, полученный ТМ способом показал себя как макромолекулу с одной изоформой, но с высокой степенью полидисперсности.

Существуют большие различия в молекулярных конформациях инулина для самых коротких олигомеров со степенью полимеризации (СП) ниже 9 и выше 20. Олигомеры с СП меньше девяти имеют организованные, хотя и менее четко определенные конформации. Олигомеры инулина с СП 9 и выше образуют регулярную спиральную структуру в виде пяти- и шестикратной спирали. Спиральные структуры каждой цепи могут объединяться в ряд изоформ, природа которых зависит от кинетики и термодинамики образования [65].

Результаты работ [4-А] показывают четкую разницу между распределением молекулярных размеров двух фракций, полученных пропусканием раствора инулина через ультрафильтрационную мембрану. Среднечисловая (M_n) и средневесовая (M_w) молекулярные массы фракции

пермеата были 3000 Да и 3221 Да, соответственно. Эти значения для раствора ретентата были равны $M_n = 4255$ и $M_w = 4629$. Средние значения СП составляли 18.4. и 26.1, соответственно для первой и второй фракций.

Последние достижения в области биоорганической нанотехнологии установили представление о том, что очень простые молекулярные строительные блоки, такие как дипептиды, могут образовывать регулярные наноструктуры с различными механическими, оптическими, пьезоэлектрическими и электронными свойствами [158, 159]. Например, результаты оптической микроскопии на примере коротких пептидных блоков показали, что агрегаты в растворе смешиваются и переплетаются, создавая неровные плоскости при более высоких концентрациях, в то время как низкие концентрации дают, в основном, дискретные агрегаты с некоторыми запутанными плоскостями. Электронная микроскопия позволила более детально изучить поведение самоорганизующихся молекул в растворе [194-196].

В последнее время повышенное внимание ученых уделяется вопросам самоорганизации полисахаридов и белков [195, 197]. В обзорной статье [198] представлены и обсуждены примеры применения гликополимеров для разделения и удаления токсинов и бактерий, распознавания опухолевых клеток и доставки инсулина, чувствительного к глюкозе.

Свойства самоорганизации натуральных и синтетических полимеров стремительно развиваются. Однако природные полимеры, полученные из нативных или модифицированных полисахаридов, такие как целлюлоза, хитозан, глюканы, камеди, пектины и крахмал, привлекали, особое внимание, в качестве сырья при производстве самоорганизующихся полимерных композиционных (СОПК) материалов, имеющих несколько форм: пленки, гидрогели, мицеллы, и наночастицы [193-198]. Простота управления архитектуры СОПК, а также их высокая доступность по своей природе, низкая стоимость и экологичность полимеров были основными положительными моментами их использования для различных приложений.

Многогранные свойства (системы, чувствительные к pH, температуре, ионной силе, типам ионов, механической силе и ферментам) этих устройств приводят к разработке современных пищевых материалов. В частности, наночастицы и наногели на основе углеводов использовались для доставки лекарств, визуализации клеток и тканевой инженерии [195, 198]. Тем не менее, учитывая их изобилие в природе, углеводы остаются незамеченными молекулами в материаловедении, а их исключительные структурные свойства все ещё не используются в полной мере.

Инулин, как и другие полисахариды также богат гидроксильными группами, которые способны принимать участие в супрамолекулярных взаимодействиях, в частности через водородные связи. Из полученных, нами, результатов (дифференциальные кривые ММР-рис. 2 и конформационный график) кажется вероятным, что некоторая значительная самоорганизация начинается с низкомолекулярных фракций инулина, которые, как предполагается, благоприятствуют циклическую или спиральную конформацию [54, 65]. Поэтому мы исследовали инулин из различных источников, как полимер с промежуточной степенью полимеризации лучшей растворимостью в воде.

Таким образом, инулин, неразветвленный олигосахарид с молекулярной массой от 1200 Да до 120 000 Да (СП 2-60 и выше), был исследован на его склонность к самоорганизации в концентрированном растворе, путем определения его молекулярно-массового распределения методом турбидиметрического титрования. Эти взаимодействия могут быть как межмолекулярными, так и внутримолекулярными, хотя моделирование структуры инулина на основе рентгеноструктурного анализа твердой формы предполагает, что кристаллический инулин имеет только межмолекулярные водородные связи между цепями. В этом контексте гелеобразование инулина описывается как гель-частицы, в которых трёхмерные сети образуют агрегированные коллоидные частицы инулина [4-А].

Показано, что инулин цикория со средней молекулярной массой 4.468

кДа может самоорганизовываться в водной среде, как и многие блочные и графт-сополимеры, демонстрирующие критическую концентрацию агрегации. Он образует мягкие глобулярные супрамолекулярные сборки в водной среде. Не агрегированные инулиновые мономеры также предполагают глобулярную геометрию [4-А].

В целом, исходя из полученных данных и результатов, полученными другими исследователями, можно сделать следующие выводы: (а) результаты гидродинамических свойств и молекулярной массы образцов инулина топинамбура, полученные разными методами (при высокой температуре 105°C за короткое время и при низкой температуре 75°C, но более длительное время) демонстрировали самоагрегирующие свойства этого биополимера, даже при очень низких концентрациях при этом исключаются процессы деградации (гидролиза), так как процесс экстракции проводился при нейтральных условиях (рН=6.8); (в) инулин, экстрагированный ФМ состоит из двух фракций: низкомолекулярный инулин и высокомолекулярный агрегат, который представляет собой комплекс полисахарида. Как и следовало ожидать, невозможно их разделить обычными методами, при концентрировании на УФ-мембране, формировался ряд субфракций, при чем образовалось большое количество агрегированных нерастворимых в воде микрогелей.

Таким образом, данное исследование продемонстрировало новые результаты по структурным и молекулярным параметрам инулина из клубней топинамбура, предлагающий гипотезу о структурном формировании инулина в водном растворе. Результаты наших исследований [4-А] подтверждает результаты предыдущей работы [2-А] о поведении инулина в растворе с увеличением концентрации образовывать агрегаты различного молекулярного веса, причём показано, что с ростом концентрации инулина в растворе могут формироваться агрегаты в виде микрогелей. Анализ приведённых данных показывает, что действительно существует золотая середина в структурной организации олигосахаридов.

Показано, что фракции меньшего размера инулина образуют четко определенные супрамолекулярные сборки, в то время как большие фракции собираются в аморфные агрегаты - микрогели. Эти данные будут полезными при разработке и получении материалов в области нанотехнологий и материаловедения. Дальнейшие исследования по разработке композиционных материалов и наночастиц на основе инулина могут быть использованы в качестве новой системы доставки лекарств или других представляющих интерес молекул. Работа послужит концептуальной ступенькой на пути к превращению полисахаридов в важный класс структурированных материалов для применения в био- и нанотехнологии.

«...Кроме того, в данном исследовании показано, что метод турбидиметрического титрования, вполне может заменить такие дорогостоящие методы определения ММР полимеров, как ВЭЭЖХ, ультрацентрифугирование, светорассеивание и другие современные методы» [5-А].

Глава 4. Рекомендации по применению полисахаридов из корнеклубней растений, произрастающих в Таджикистане

В нашей республике растёт множество корнеплодов (картофель, топинамбур, цикорий, алтей, различные виды лука, эремурус и др.), растений с высоким содержанием запасных полисахаридов (сельдерей, подорожник, одуванчик, ревень, бадьяна и др.) и защитных полисахаридов пектина, камедь и слизь (фрукты и овощи). Эти богатые сырьевые источники позволяют развить технологии производства и исследовать применение полученных продуктов, организовать производство профилактических продуктов и биотопливо.

Кроме того, модификация натуральных пищевых компонентов физическими, химическими и ферментативными средствами направлена на получение материалов с превосходными функциональными свойствами. Мы надеемся, что эта работа может предложить некоторую теоретическую основу и пути для изучения механизма биоактивности полисахаридов и их применения в пищевой и фармацевтической промышленности, что несомненно вносить весомый вклад в экономику республики.

В пищевой и фармацевтической промышленности используется инулин и других фруктанов. Инулин все чаще используется в качестве функционального пищевого ингредиента благодаря своим уникальным физиологическим свойствам. В США в среднем один человек употребляет 2,6 г инулина в день, этот показатель в Европе значительно выше: 3-11 г. Однако учитывая европейский рацион можно предполагать что не всегда достигает потребности человека в инулине 10-20 г в день [61]. Поэтому существует огромный потенциал для увеличения производства инулина и его потребления в мире.

Можно сказать, что инулин, принимаемый с пищей, создает оптимальные условия для роста и развития нормальной кишечной микробиоты; профилактика зоба; повышение устойчивости организма (пищеварительной системы) к бактериальным а также вирусным инфекциям.

Инулин помогает нормализовать обмен веществ в организме; в отношении от неиспользуемых молекул глюкозы, которые со временем превращаются в метаболиты жира, фруктоза полностью используется организмом и предотвращает развитие ожирения и атеросклероза сосудов. Использование инулина в свою очередь способствует потере веса путем активации процессов элиминации жира, связанных с процессом переваривания глюкозы; нормализация уровня глюкозы в крови. Фруктоза усваивается организмом гораздо легче, чем глюкоза. Инулин также способствует синтезу гликогена путем улучшения использования глюкозы, что обеспечивает более высокие уровни энергетического метаболизма. Кроме того, лучшее использование глюкозы стимулирует синтез белков, холестерина и желчных кислот. Инулин также значительно упрощает работу печени, потому что устраняет из кишечника и крови токсичные вещества [54].

Благотворное воздействие инулина и фруктовых олигосахаридов (ФОС) на человека и животных часто объясняется их способностью стимулировать рост и регенерацию полезных кишечных бактерий, действовать как сигнальные молекулы и нейтрализовать активные формы кислорода [217]. Фактически, инулин из топинамбура благоприятствовал росту пяти видов лактобациллов и четырех видов бифидобактерий [218]. Ежедневное потребление от 10 до 12 г инулина, полученного из цикория, повышает консистенцию стула у людей, страдающих запорами, и авторы связывают этот эффект с их действием на кишечную микробиоту [219]. Фактически кишечная микробиота переваривает инулин и формирует короткоцепочечные жирные кислоты, которые благотворно влияют как на нормальную кишечную микробиоту, так и на функцию кишечника человека [220, 221]. Особенным эффектом потребления инулина в качестве пребиотика является повышенное содержание бифидобактерий, с свидетельством увеличения числа микроорганизмов родов *Anaerostipes*, *Fecalibacterium* и *Lactobacillus*, и снижения содержания микроорганизмов, типичных для рода *Bacteroides*. [220]. «...Имеются также сведения о позитивном влиянии

инулина на барьерную функцию кишечника и иммунитет. На примере цыплят, зараженных сальмонеллезом, было показано, что добавки инулина к корму способствуют сдвигу уровня экспрессии ряда генов, связанных с иммунной и кишечной барьерной функцией, характерную для неинфицированных цыплят. Также инулин способствовал увеличению высоты ворсин и уменьшению глубины крипт в двенадцатиперстной, тощей и подвздошной кишках. В целом, инулин облегчал восстановление индуцированного сальмонеллой повреждения кишечника, уменьшая провоспалительный ответ и повышая иммунитет слизистой оболочки у цыплят»

Есть также доказательства того, что инулин оказывает положительное влияние на функцию кишечного барьера и иммунитет. Было показано, что в случае цыплят, инфицированных сальмонеллезом, добавление пищи с инулином способствует изменению уровней экспрессии нескольких генов, связанных с иммунной функцией и кишечным барьером, характерным для неинфицированных цыплят. Инулин также способствовал увеличению высоты ворсинок и уменьшению глубины складок в двенадцатиперстной кишке, голодании и подвздошной кишке. В целом инулин способствовал восстановлению вызванного сальмонеллой повреждения кишечника, снижению провоспалительных реакций и улучшению иммунитета слизистой оболочки у цыплят. [222]. Инулин также был предложен для использования в качестве альтернативы антибиотикам в птицеводстве, и это очень актуальная область исследований сегодня, так как Европейский союз уже запретил использование антибиотиков в птицеводстве. [223]. Было показано, что добавление 25 мг/кг инулина в рацион улучшает рост цыплят, инфицированных *Clostridium perfringens*. Введение инулина в рацион кур-несушек также увеличило яйценоскость и улучшило состояние кишечной микробиоты [224], это также улучшает антиоксидантный статус яиц и помогает дольше хранить их в холодильнике [225]. Инулин вообще считается одной из самых перспективных пищевых добавок для кур на сегодняшний

день, улучшая их здоровье и производительность в промышленном производстве без применения антибиотиков. Инулин и бактерию *Lactobacillus acidophilus* предлагается использовать для повышения эффективности пероральной вакцинации против бактерий мышинного тифа у поросят [226]. Однако, по словам авторов, результаты были достигнуты только улучшением общего состояния пищеварительной системы после вакцинации, а не прямым воздействием на эффективность самой процедуры вакцинации. Также имеются данные об увеличении среднесуточного прироста веса и ряд других показателей у поросят, которых кормили инулином [227].

Перспективной функциональной пищей является якон, который выращивается в Южной Корее, Китае и Японии. Доказано, что якон оказывает благотворное влияние на уровень липопротеинов низкой плотности в крови и используется для борьбы с диабетом и ожирением [228]. Эти и другие эффекты якона связаны с высоким содержанием ФОС и инулина в клубнях этой культуры (80% от общего количества углеводов).

Одним из наиболее серьезных глобальных проблем является дефицит витамина D₃, что особенно важно для стран, расположенных на больших высотах. Показано, что инулиновые пищевые добавки увеличивают выработку провитамина D₃-7-dehydrocholesterol в кишечнике, который превращается в витамин D₃ при воздействии УФ-излучения в коже [229]. Такой эффект авторы расстолковали его положительным действием на кишечную микробиоту, которая продуцирует лактат, ацетат и пируват, которые всасываются клетками кишечника путем активации биосинтеза 7-дегидрохолестерина.

На все более важные показатели состояния печени и микробиоты положительно влияет высокомолекулярная форма инулина в совокупности с низкомолекулярным [230, 231].

Литература предоставляет данные об антидепрессантных свойствах инулина и нескольких инулин-подобных ФОС. Например, высокая

антидепрессантная активность (*Morinda officinalis*) ФОС была продемонстрирована у крыс. Авторы объясняют свои результаты тем, что ФОС в кишечнике крыс способствуют снижению содержания микроорганизмов, связанных с депрессией, и увеличению содержания веществ антидепрессантов, разделяющих нормальную микрофлору. Кроме того, ФОС из моринды была даже более эффективной, чем широко известные синтетические антидепрессанты, такие как флуоксетин [232]. Обзорная статья с данными 33 исследований с участием 1346 пациентов показала, что инулин уменьшил гликемию, гликозилированный гемоглобин, инсулин и резистентность к инсулину, особенно у пациентов с преддиабетом и диабетом 2 типа [233]. Авторы приходят к выводу, что использование инулина в качестве пищевой добавки (10 г в день) имеет клиническую ценность при лечении преддиабета и диабета 2 типа. У крыс положительное влияние инулина на алкогольную болезнь печени было продемонстрировано снижением воспалительных процессов по его влиянию на подавление макрофагов M1, индуцированных короткоцепочечными жирными кислотами. Инулин способствовал не только увеличению содержания пропионовой кислоты, масляная кислота, валериановая кислота, макрофаги M2, аргиназа 1 и интерлейкин IL 10, а также к снижению содержания макрофагов M1. В целом, снижение уровня воспаления способствовало улучшению состояния алкогольной болезни печени у мышей [234]. Когда смесь экстракта инулина и аморфофаллуса коньяка тестировали на крысах с индуцированным диабетом, уровни глюкозы в крови и триглицеридов снижали, выработку инсулина в островках Лангерганса улучшали и снижали ожирение у крыс с индуцированным диабетом [235].

Инулин оказывает благотворное влияние на синдром раздраженного кишечника, язвенный колит, болезнь Крона и другие кишечные расстройства, связанные с воспалительными процессами. Также имеются доказательства защитного действия инулина против потенциального развития рака толстой и прямой кишки и лучшего усвоения магния, кальция, железа и других

минералов в кишечнике [236]. С другой стороны, подробный анализ литературы показывает, что данные о положительном влиянии инулина на результаты рака неубедительны и требуют дальнейшего анализа [237]. Имеются доказательства того, что фруктан обладает иммуномодулирующим и противовирусным действием, которое достигается за счет увеличения продукции оксида азота NO (ингибитора вирусной репликации) и известных иммуностимулирующих факторов, таких как IL-1 β , IL-6 и IL-10 интерлейкин, гамма-интерферон и фактор некроза опухоли [217]. Было показано, что инулиновые добавки снижают систолическое кровяное давление у женщин с раком молочной железы, проходящих предоперационную химиотерапию [218]. Было показано, что у крыс с атеросклерозом, примером модели, инулин снижает уровень церамида в плазме, снижая экспрессию и активность нейтральной сфингомиелиназы, тем самым способствуя снижению риска развития кардиометаболических заболеваний [239].

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что инулин должен быть одним из наиболее важных метаболитов растений для фармацевтической промышленности и для медицинских применений, таких как нутрицевтики и лекарства в будущем. Кроме того, у инулина есть следующее потенциальное использование в медицине. Как добавка в таблетках, чтобы увеличить темп распуска компонентов продукта. Также используется в качестве стабилизатора и адъюванта в вакцинах [240]. Как уже упоминалось, инулин взаимодействует с клеточными мембранами и способствует их стабилизации, что проявляется, например, в большей толерантности к стрессу у растений. Инулин также повышает стабильность белка, как показано на примере гемагглютининов в вакцинах против гриппа. Агрегаты эритроцитов вакцины против гриппа хорошо сохранились после лиофилизации при низких температурах с использованием инулина. Инулин также используется в медицине в качестве диагностического инструмента для измерения функции почек, т.е. скорости клубочковой фильтрации. [61]. С целью данного полисахарид включают внутривенно и потом вводят почками.

Так как полисахарид никак не попадает в организм непосредственным способом и никак не метаболизируется в кровотоке, число инулина, изображаемого в моче, предоставляет данные касательно функции почек.

Основываясь на доказательствах его многочисленных положительных эффектов на организм человека, инулин становится все более популярным как пищевая добавка и как функциональный ингредиент. Инулин имеет калорийность всего 1-1,5 ккал/г и используется в качестве альтернативы высококалорийным компонентам в различных пищевых продуктах [241]. Инулин все чаще используется во всем мире в качестве добавки в пищевых продуктах, таких как зерновые завтраки, молоко и мясные продукты, охлажденные кондитерские изделия, пищевые агенты, салатные подкладки, шоколад и различные диетические продукты, в качестве пребиотика, для удержания влаги и в качестве заменителя сахара и жира. Инулин также используется в производстве таблеток, таких как подсластитель, пищевые волокна и пребиотик [236]. Инулин широко используется в обработанных пищевых продуктах в качестве заменителя жира и сахара, но обеспечивает лишь 25 - 35% энергии по сравнению с усвояемыми углеводами. Инулин имеет уровень сладости около 10% сахарозы. [236].

Инулин может образовывать желатиновую текстуру с водой, имитируя таким образом присутствие жира в пище [242]. Диетическое потребление инулина составляет 5-8 г в день. Одна порция пищи может содержать приблизительно 10-50% рекомендуемой суточной дозы. Если имеется техническая цель для добавления инулина, доза может быть выше, так как инулин начинает действовать как текстура и усилитель вкуса при концентрациях более 2% [243]. Инулин используется для производства различных видов хлеба, пирожных и вафель из пшеничной муки или ржи. Доказано, что добавление инулина делает хлеб более здоровым и улучшает многие технические эффекты, такие как стабильность формы и пористость. Таким образом улучшается внешний вид и вкус хлеба и замедляется свертывание [244].

Инулин также используется в молочной промышленности благодаря его универсальности. Его добавляют в молоко, молочные продукты, сливочное масло, сыр и мороженое. Наиболее известными продуктами, содержащими инулин, на сегодняшний день являются кефир Wimm-Bill-Dann's Biomax Effects и ассортимент пребиотических йогуртов Ermigurt's Ermann. Galactica Group также разработала новый продукт, пастеризованное молоко, обогащенное инулином. Поскольку молоко с инулином содержит только 1% жира, этот продукт является идеальной пищевой добавкой для диеты. Только 200 г этого молока обеспечивает 20% рекомендуемых суточных требований к инулину для организма. Инулин широко используется в производстве отучительных продуктов, таких как «Агуша», «Здравверы», злаков и смесей «Хинес», «Фрутоняня» и «Умница». Известно применение инулина в пищевых продуктах в РФ и других странах: быстрорастворимые злаки типа «Быстров». Производство сока марки «J7 Immuno» [241]. В словесности также обсуждается возможность использования инулина в качестве основного носителя при производстве высушенных экстрактов различных фруктов. Например, добавление инулина во время вакуумной сушки травяного сока приводило к лучшему сохранению антоцианов, чем при использовании мальтодекстрина [245].

Все вышеперечисленные свойства инулина способствовали обширному развитию исследований, что привело к разработке методов выделения, очистки и введения инулина в пищевую промышленность. Мировое производство инулина составляет 100 000 тонн в год. На мировом рынке существует всего три крупные компании, производящие инулин. 70% рынка занимает бельгийская компания Beneo Orafti, оставшаяся часть разделена почти поровну между Cosucra, также в Бельгии, и Sensus, в Нидерландах. Ожидается, что мировой рынок инулина будет расти с годовыми темпами роста (CAGR) в 3,6% в течение следующих пяти лет, достигнув \$350 млн в 2024 году по сравнению с 290 млн долларов в 2019 году [241]. Цикорий - единственный источник инулина, используемый

европейскими компаниями. Цикорий имеет более удобную форму корня растения с несколько более высоким содержанием инулина, чем цикорий. Наиболее перспективным источником инулина в России является иерусалимский артишок, так как он так же неприхотлив к условиям нашей страны, как цикорий. Однако, несмотря на огромный и растущий спрос на сырье, в России до сих пор нет крупных заводов по производству инулина. Проект завода по производству инулина для пищевого и медицинского применения в Данковском районе Липецкой области искал инвесторов уже шесть лет. Проект был отменен с самого начала из-за старого китайского оборудования, которое должно было быть установлено на заводе [246]. Существует также проект строительства завода по производству инулина в Краснодарском крае [247], оба из которых предусматривают использование завода инулина в качестве природного сырья. Третий проект по строительству завода по производству инулина из желтой малины должен состояться в Челябинской области при поддержке китайских инвесторов, но и эта идея пока не реализована [248]. При этом инновационная компания «Красота. Сила. Молодость» начала опытное производство инулина с панельного завода. Этот уникальный для промышленного завода компонент разработали специалисты Томского государственного университета. Компания производит нектары, обогащенные инулином и другими напитками «КрасотИН» [249].

Большой интерес для функциональных систем питания представляют продукты, приготовленные непосредственно из свежей краски, полученные с использованием специальных методик для максимизации свойств и полезных качеств панели [250, 251].

Это может включать продукты, содержащие муку (пшеничный порошок) из жареных клубней фасоли. Клубни плодовых бобов используются при производстве нежирной (низкокалорийной) муки, используемой при изготовлении хлебобулочных изделий. Содержание жареной фасольной муки в кондитерских и хлебобулочных изделиях может

достигать 10%, что способствует улучшению воздухопроницаемости, ее быстрому расширению и поддержанию формы, придает приятный вкус готовому продукту и снижает его калорийность. При этом снижается гликемический индекс готового хлеба. Это важно для пациентов с диабетом и ожирением. При этом следует строго поддерживать долю влаги, дрожжей и сахара в муке [252, 253].

На сегодняшний день разработаны различные методики производства хлебобулочных изделий, макаронных и кондитерских изделий с инулином и пищевыми волокнами из жареной фасоли, основанные на использовании высушенного порошка жареной фасоли в качестве источника этих физиологически ценных компонентов [254, 255]. Полученное с такими добавками тесто может быть переработано в хлеб, мелкие хлебобулочные изделия, макаронные изделия, бисквиты и т.д.

Масса лапши, полученной с добавлением трубчатой муки из обжаренной фасоли, приобретает большую агглютинацию и эластичность и снижает твердость и вязкость по сравнению с массой, полученной из муки пшеничной дюры [256].

Широко распространено производство фруктозо-декстрозного сиропа из клубней бобов, что позволяет вдвое сократить общее потребление сахара (сахарозы) и обеспечить поставку низкокалорийного продукта.

Разработана технология получения кваса из основы фруктозного сиропа и глюкозы желтой травы. Квас имеет мало калорий и может быть рекомендован для людей, страдающих ожирением и диабетом.

Одной из основных форм переработки жареных клубней фасоли является производство пюре и пюреобразных продуктов. Разработаны способы получения пюре из малины с использованием парового конвекционного устройства [257]. Пюре из фруктовых бобов стало широко использоваться при разработке рецептов сочетания фарша и рыбы для производства колбас и мясных рулетов [258-260].

Уникальное соединение биологически активных веществ желтой травы делает растение очень перспективным в диетическом питании и пищевой промышленности, как сырье для создания высокоэффективных лекарственных средств [261].

Исходя из существующей информации по применению инулина в литературе мы предлагаем использовать инулин и другие олигосахариды в качестве добавки к пище и биологически активных композициях (БАД).

Имеются также сведения о позитивном влиянии инулина на барьерную функцию кишечника и иммунитет. Инулин предлагается также использовать в качестве альтернативы антибиотикам при выращивании кур, для повышения эффективности пероральной вакцинации, а также его применении при диабете и для борьбы с ожирением. Необходимо отметить, что высокомолекулярные формы инулина оказывали более плодотворное влияние на все основные показатели печени и состояния микробиоты по сравнению с низкомолекулярным инулином.

В связи с отсутствием отечественного инулина, предприятия производящие детское питание и здоровое питание для взрослых полностью зависят от импорта.

Таким образом, исходя из анализа рынка применения инулина и учитывая диетическую норму потребления инулина в 5–8 г в сутки можно предложить организацию производства инулина в республике 80-100 т в год. Себестоимость производства инулина из топинамбура около 5 сомони/кг, цена на импортный более 25 сомони /кг. Рынок производства инулина в Таджикистане остается невостребованным. На сегодняшний день в Таджикистане не существует проблемы с выращиванием топинамбура или цикория, пока их возделывают на очень небольших площадях. Основная проблема, сдерживающая распространение данных культур, заключается в том, что не сформирован спрос на них, являющейся источником инулина, фруктозы и пектина.

Глава 5. ВЫВОДЫ

1. Установлено, что сырой инулин, полученный традиционным и флэш методами (ТМ и ФМ) из местного сырья содержит примеси, такие как пектин, фенольные соединения, остатки белков и аминокислот; показано, что инулиновый экстракт также богат макро- и микроэлементами такими как К, Mg, Са, Р, Fe и Zn и не содержит тяжёлые металлы; получены новые результаты по структурным и молекулярным параметрам инулина из клубней топинамбура [2-А].
2. Дана оценка ММР образцов инулина методами ВЭЭЖХ и турбидиметрического титрования: на основе интегральных и дифференциальных кривых ММР показано, что у образцов инулина из топинамбура присутствуют 3 макромолекулярные фракции (изоформы), которые в отдельности имеют узкое ММР, на основе этих данных разработан оптимальный способ экстракции инулина из растительного сырья [4-А].
3. Представлена гипотеза, о структурной реорганизации макромолекулы инулина при экстракции и концентрировании раствора, т.е. склонности к самоорганизации в разбавленном и концентрированном растворах посредством меж- и внутримолекулярными взаимодействиями, на основе данных ММР и ИК-спектров [4-А, 5-А].
4. Установлено, что фракции меньшего размера инулина образуют четко определенные супрамолекулярные сборки, в то время как большие фракции собираются в аморфные агрегаты – микрогели. Эти данные будут полезными при разработке и получении материалов в области нанотехнологий и материаловедения [5-А].
5. Показано, что при исследовании взаимодействия макромолекул в концентрированном растворе метод турбидиметрического титрования вполне может дополнить такие дорогостоящие методы определения

ММР полимеров, как ВЭЭЖХ, ультрацентрифугирование, светорассеивание и другие современные методы [4-А, 5-А].

6. Полученные данные могут быть использованы в качестве научной основы при разработке композиционных материалов и наночастиц на основе инулина. Результаты исследований по разработке нового метода экстракции инулина и анализа физико-химических свойств внесут существенный вклад в физико-химию биополимеров и композиционных материалов на их основе [1-А, 2-А, 3-А, 4-А, 5-А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Инулин используется в пищевой и фармацевтической промышленности и все чаще используется в качестве функционального пищевого ингредиента благодаря своим уникальным физиологическим свойствам создавая оптимальные условия для роста и развития нормальной кишечной микробиоты

Предстоящие задачи на пути внедрения результатов диссертационной работы будут охватывать различные области применения инулина и других полисахаридов, такие как улучшение физических свойств компонентов пищи, исследования биологической активности и применение их как ингредиентов в новых функциональных пищевых продуктах.

В нашей республике растёт множество корнеплодов (картофель, клубни топинамбура, цикорий, алтей, различные виды лука, сельдерей, подорожник, одуванчик, ревень, бадьяна и др.), растений с высоким содержанием запасных полисахаридов типа инулина. Эти богатые сырьевые источники позволяют развить технологии производства и исследовать применение полученных продуктов, организовать производство профилактических продуктов и биотопливо. Данная работа предлагает теоретическую основу и пути для изучения механизма биоактивности полисахаридов и их применения в пищевой и фармацевтической промышленности, что несомненно вносить весомый вклад в экономику республики.

ЛИТЕРАТУРА

1. Peter, A.W. Renewable Resources for Functional Polymers and Biomaterials / A.W. Peter // Royal Society of Chemistry. Published by the Royal Society of Chemistry. – 2011. – P. 1-14. www.rsc.org.
2. Cirillo G. Functional Polymers in Food Science. Food Packing /G. Cirillo, U. G. Spizzirri, F. Iemma // Wiley Scrivener Publishing LLC. – 2015. – V. 1. – P. 431. ISBN 978-1-118-59489-6.
3. Jenkins M. Biomedical polymers / M. Jenkins // Publishing Limited Cambridge, England: Wood head Pub. and Maney Pub. on behalf of Institute of Materials, Minerals & Mining; Boca Raton, FL: CRC Press. – 2007. – P.236. ISBN 1 84569 070 2.
4. Ali, A. Recent Advances in Edible Polymer Based Hydrogels as a Sustainable Alternative to Conventional Polymers / Ali A, Ah med Sh // J. Agric. Food Chem. – 2018. – V. 66. – P. 6940–6967. DOI: 10.1021/acs.jafc.8b01052.
5. Nikolaeva, E.D. Biopolymers for Tissue Engineering (Биополимеры для клеточной и тканевой инженерии) / E.D. Nikolaeva // Journal of Siberian Federal University. Biology 2. –2014. – V. 7. – P. 222-233.
6. Toukach, P.V. Carbohydrate structure database merged from bacterial, archaeal, plant and fungal parts / P.V. Toukach, K.S. Egorova // Nucleic Acids Res. –2016. – V. 44. – P.1229–1236.
7. Toukach, P. Carbohydrate Structure Database (CSDB): Examples of Usage. In A Practical Guide to Using Glycomics Databases / P. Toukach, K. Egorova // Aoki-Kinoshita, K.F., Ed. Springer: Tokyo, Japan. – 2017. – P. 75–113.
8. Doblin, M.S. Plant cell walls: the skeleton of the plant world / M.S. Doblin, F. Pettolino & A. Bacic, Funct. // Plant Biol. –2010. –V.37. P. 357–381.
9. Cosgrove, DJ. Expansive growth of plant cell walls / DJ. Cosgrove // Plant Physiology and Biochemistry. –2000. – V. 38. – P. 109–124.
10. Cosgrove, DJ. Re-constructing our models of cellulose and primary cell wall assembly / DJ. Cosgrove // Current Opinion in Plant Biology. – 2014. –V. 22. – P.122–131.

11. Mohnen, D. Pectin structure and biosynthesis. *Curr.Opin. Plant Biol.* – 2008. – V. 11, –P. 266 – 277.
12. Shibata, T. Cellulose and Its Derivatives in Medical Use. In *Renewable Resources for Functional Polymers and Biomaterials* / T. Shibata // Edited by Peter A. Williams. RSC Polymer Chemistry Series. No. 1. Royal Society of Chemistry. – 2011. – P. 48-80.
13. Thibault, J. Physico-chemical properties of pectin in the cell walls and after extraction / J. Thibault, M. Ralet // In: Voragen F, Schols H, Visser R, editors. *Advances in pectin and pectinases research*. Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers. – 2003. – P. 91 – 105.
14. Vincken, J. If homogalacturonan were a side chain of rhamnogalacturonan I. Implications of cell wall architecture / J. Vincken, H. Schols, R. Oomen, M. McCann, P. Ulvskov, A. Voragen, R. Visser // *Plant Physiol.* – 2003. – V. 132. – P. 1781–9.
15. Willats, WGT. Pectin: new insights into an old polymer are starting to gel / WGT. Willats, JP. Knox, J. Mikkelsen // *Trends Food Sci Technol.* – 2006. – V. 17. – № 3. – P. 97–104.
16. Yapo, B.M. Pectic substances: From simple pectic polysaccharides to complex pectins - A new hypothetical model / B.M. Yapo // *Carbohydrate Polymers.* – 2011. – V. 86. – P. 373–385.
17. Chaires-Martínez, L. Physicochemical and functional characterization of the galactomannan obtained from mesquite seeds (*Prosopis pallida*) / L. Chaires-Martínez, J. A. Salazar-Montoya, E. G. Ramos-Ramírez // *European Food Research and Technology.* -2008. – V. 227. – P. 1669–1676.
18. Douiare, M. Designer colloids in structured food for the future (short survey) / M. Douiare, I. T. Norton // *Journal of the Science of Food and Agriculture.* – 2013. – V. 93. – P. 3147–3154.
19. Shamsara, O. Effect of ultrasonication, pH and heating on stability of apricot gum-lactoglobuline layer nanoemulsions / O. Shamsara, Z.K. Muhidinov, S.M. Jafari, J. Bobokalonov, A. Jonmurodov, M. Taghvaei, M. Kumpugdee-Vollrath

- // International Journal of Biological Macromolecules. – 2015. V. 81. – P. 1019-1025.
20. Busch, V. M. Vinal gum, a galactomannan from *Prosopis ruscifolia* seeds: Physicochemical characterization / V. M. Busch, A. A. Kolender, P. R. Santagapita, M. P. Buera // Food Hydrocolloids. - 2015. – V. 51. – P. 495–502.
 21. Nussinovitch A. Plant gum exudates of the world: sources, distribution, properties and applications. CRC Press, Taylor & Francis Group – 2010. 383p.
 22. Inulin and Konjac Glucomannan. In Carbohydrate Chemistry for Food Scientists. AACCI. Published by Elsevier Inc. in cooperation with AACC International, Chapter – 2019. – V. 10. – P. 253-259.
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812069-9.00010-8>
 23. Schröder, R. Re-interpreting the role of endo- β -mannanases as mannan endotransglycosylase/hydrolases in the plant cell wall / R. Schröder, R.G. Atkinson, R.J. Redgwell // Ann. Bot. – 2009. – V. 104, – P. 197–204.
 24. Tester, R.F. Utilisation of glucomannans for health, in: C.S. Hollingworth (Ed.), Food Hydrocolloids: Characteristics, Properties and Structures / R.F. Tester, F.H. Al-Ghazzewi // Nova Science Publishers, Inc., New York. – 2009. – P. 1-9.
 25. Huang, L. Gelation Behavior of Native and Acetylated Konjac Glucomannan Biomacromolecules / L. Huang, R. Takahashi, S. Kobayashi, T. Kawase, K. Nishinari // – 2002. – V. 3. – P. 1296–1303.
 26. Yao-ling, L. Review of konjac glucomannan: isolation, structure, chain conformation and bioactivities / L. Yao-ling, D. Rong-hua, C. Ni, P. Juan, P. Jie // J. Single Mol. Res. – 2013. – V. 1. – P. 7–14.
 27. Ray R.C. Amorphophallus: technological interventions, in: H.K. Sharma (Ed.), Tropical Tuber Crops / Ray R.C., Behera S.S // Production, Processing and Technology, John Wiley & Sons. – 2016. – P. 591-612.
DOI:10.1002/9781118992739.
 28. Dave V. Review of konjac glucomannan / V. Dave, S.P. McCarthy // J. Environ. Polym. Degrad. – 1997. – V. 5. – P. 237–241.

29. Takigami, S. Konjac mannan. In: Phillips, G.O., Williams, P.A. (Eds.), Handbook of Hydrocolloids / S. Takigami // CRC Press, Boca Raton. – 2009. – P. 889-901.
30. Zhang Y.Q. Advance in the applications of konjac glucomannan and its derivatives / Y.Q. Zhang, B.J. Xie, X. Gan // Carbohydr. Polym. – 2005. – V. 60. – P. 27–31.
31. Alonso-Sande M. Glucomannan, a promising polysaccharide for biopharmaceutical purposes / M. Alonso-Sande, D. Teijeiro-Osorio, C. Remunan-Lopez, M.J. Alonso // European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics. – 2009. – V. 72. – P. 453–462. doi: 10.1016/j.ejpb.2008.02.005.
32. Huang, Y. C. Alkali-treated konjac glucomannan film as a novel wound dressing / Y. C. Huang, H. W. Chu, C. C. Huang, W. C. Wu, J. S. Tsai // Carbohydrate Polymers. – 2015. – V. 117. – № 117. – P. 778–787.
33. Honglei Chena. An injectable self-healing hydrogel with adhesive and antibacterial properties effectively promotes wound healing / Honglei Chena, Junwen Cheng, Luoxiao Ran, Kun Yu, Bitao Lu, Guangqian Lana, Fangying Daia, Fei Lu // Carbohydrate Polymers. – 2018. – V. 201. – P. 522–531. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.08.090>.
34. Filipa Guerreiro. Spray-drying of konjac glucomannan to produce microparticles for an application as antitubercular drug carriers / Filipa Guerreiro, Jorge F. Pontes, Ana M. Rosa da Costa, Ana Grenha // Powder Technology. – 2019. – V. 342. – P. 246–252. doi.org/10.1016/j.powtec.2018.09.068.
35. Khan S. S. A new source of medically important compounds / S. S. Khan, V. U. Ahmad, N. Saba // *Eremurus Persicus*, Pak. J. Bot. – 2011. – V. 43. – № 5. – P. 2311-2313.
36. Hu Ch. Isolation and structural characterization of a novel galactomannan from *Eremurus anisopterus* (Ker. et Kir) Regel roots / Ch. Hu, Q. Kong, D. Yang, Y. Pan // Carbohydrate Polymers. – 2011. – V. 84. – P. 402-406.

37. Jahanbin, K. Isolation, purification and structural characterization of a new water-soluble polysaccharide from *Eremurus stenophyllus* (boiss. & buhse) baker roots / K. Jahanbin, A. Abbasian, M. Ahang. // Carbohydrate Polymers. – 2017(August). – V. 178. – P. 386–393.
<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.09.058/>
38. Smirnova, N. I. The Structure and Characteristics of Glucomannans from *Eremurus iae* and *E. zangezuricus*: Assignment of Acetyl Group Localization in Macromolecules / N. I. Smirnova, N. M. Mestechkina, V. D. Shcherbukhin // Applied Biochemistry and Microbiology. – 2001. – V. 37. № 3. – P. 287–291.
<https://doi.org/10.1023/A:1010237419780/>
39. Karakaya L., Akgül Y., Nalbantsoy A. Chemical constituents and in vitro biological activities of *Eremurus spectabilis* leaves - Nat. Prod. Res. – 2017, – V.31(15), –. 1786-1791.
40. Бердикеев, А. Глюкоманнан из корнеклубней *Eremurus Cristatus* / А. Бердикеев, Д.А. Рахимов, Н.В. Плеханова, Е.С. Кондратенко // Химия природных соединений. –1982. –№ 2. – С. 246-248.
41. Турдумамбетов К., Бакирова Г.А., Ажибаева З.С. Углеводный состав растений родов *Eremurus*, произрастающих в Кыргызстане - Проблемы современной науки и образования. – 2016, –Т.28. №70. –С.16-21.
42. Джумамуратова, А. Полисахариды EREMURUS. XV. Структура глюкоманнана *Eremurus Lactiflorus* / А. Джумамуратова, Д.А. Рахимов, Е.С. Кондратенко // Химия природных соединений. –1982. –№ 6. – С.680-684.
43. Каримов Х.Х. Некоторые эколого-физиологические особенности эфемероидов Западного Памира-Алая / Х.Х. Каримов // Экологическая физиология растений Таджикистана. – Душанбе. – 1996. – С. 5-32.
44. Сафаров Е.Х. Физиолого-биохимические особенности эфемероидов-эремуруса Гиссарского: *Eremurus hissaricus* vved. И эремуруса мощного (*Eremurus Robustus* rgl.). Автореферат дис. канд. биол. наук. – Душанбе, – 2006. – 25 с.

45. Абдулаев А. Физиология и биохимия Эремуруса (*Eremurus Hissaricus* vved) / А. Абдулаев, Е.Х. Сафаров, Б.Б. Джумаев, З.К. Мухидинов // Душанбе, ООО «Сифат-Офсет», – 2019. – 119 с. 62 библиогр.
46. Haifang Xiao. Novel physiological properties of ethanol extracts from *Eremurus chinensis* Fedtsch. roots: in vitro antioxidant and anticancer activities / Haifang Xiao, Yutang Wang, Qisen Xiang, Chunxia Xiao, Li Yuan, Liu Z. and Liu X // Food & Function. – 2012. – V. 3. – P. 1310-1318.
47. Muhidinov, Z.K. Characterization of two types of polysaccharides from *Eremurus hissaricus* roots growing in Tajikistan / Z.K. Muhidinov, J.T. Bobokalonov, I.B. Ismoilov, G.D. Strahan, H.K. Chau, T.A. Hotchkiss, Liu L.S. // Food Hydrocolloids. – 2020. – V. 10. 105768.
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105768>.
48. Farhadia F. A comprehensive review on *Eremurus* species / F. Farhadia, R. Avanb, R. Sahebkar, S. Eghbali // Phytochemistry, pharmacology and traditional uses/ Phytochemistry Letters. – 2023. – V.53. – P. 142–149.
<https://doi.org/10.1016/j.phytol.2022.12.002>
49. Beiranvand, M., Beiranvand, F., Iranian plant *Eremurus persicus*: an overview of botany, traditional uses, phytochemistry and pharmacology/ Nat. Prod. Res. – 2021. – P. 1–15.
50. Joshi, H. *Cassia grandis* Linn. f. seed galactomannan: structural and crystallographical studies / H. Joshi, V. P. Kapoor // Carbohydrate Research. – 2003. – V. 338 (18). – P. 1907–1912.
<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/12932375>.
51. Giménez-Abián, M. I. Structure of a galactomannan isolated from the cell wall of the fungus *Lineolata rhizophorae* / M. I. Giménez-Abián, M. Bernabé, J. A. Leal, J. Jiménez-Barbero, A. Prieto // Carbohydrate Research. – 2007. – V. 342 (17). – P. 2599–2603. <https://doi.org/10.1016/j.carres.2007.08.011>.
52. Исмаилов И.Б. Формирование биоразлагаемых композитов на основе зеина и глюкоманнана / И.Б. Исмаилов, Т. С. Маликов, А. С.

- Насриддинов, А. С. Джонмуродов, З. К. Мухидинов // Доклады Академии наук Республики Таджикистан. – 2019. – Т. 62. – № 3–4. – С. 207-214.
53. Исмаилов И. Б. Физико - механические свойства биоразлагаемых композитов на основе зеина и глюкоманнана / И. Б. Исмаилов, Х.М. Абдуллаев, А. С. Насриддинов, З. К. Мухидинов // Полимерные материалы и технологии. – 2020. – Т. 6. – №1, – С .25-32.
<https://doi.org/10.32864/polymmattech-2020-6-1-25-32>.
 54. Roberfroid, M.B. Inulin – type fructans: functional food ingredients. / M.B. Roberfroid // J. Nutr. – 2007. – V. 137. – № 11. – P. 2493-2502.
 55. Coussement P. Inulin and Oligofructose as Dietr Fibre: Analytical, Nutritional and Legal Aspects, in Cho S., et al. (eds), Complex Carbohydrates in Food. - Marcel Dekker, Inc: New York. – 1999. – P. 203-212.
 56. Dysseler, P. Determination of Inulin and Oligofructose in Food Products (Modified AOAC Dietry Fibre Method), in Cho S., et al. (eds) / P. Dysseler, D. Hoffem // Complex Carbohydrates in Food. -Marcel Dekker, Inc: New York. – 1999. – P. 213-227.
 57. Barkhatova, T.V. Obtaining and identification of inulin from Jerusalem artichoke (*helianthus tuberosus*) tubers / T.V. Barkhatova, M.N. Nazarenko, M.A. Kozhukhova, I.A. Khripko // Foods and Raw Materials. – 2015. – V. 3. – № 2. – P. 13-22.
 58. Kays, S.J. Biology and chemistry of Jeruslaem artichoke: *Helianthus tuberosus* L. – CRC / S.J. Kays, S. Nottingham // press: Boca Raton, FL. – 2007. – P. 496.
 59. Манукян, Л.С. Выделение инулина из различного растительного сырья / Л.С. Манукян, В.Т. Кочикян, Н.А. Андреасян, К.Б. Афян, А.М. Балаян // Биолог. журн. Армении. - 2014. – V. 66. № 4. – P. 71-75.
 60. Kaur, N.; Gupta, A.K. Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition. J. Biosci. – 2002, – 27, 703-714.

61. Mensink, M.A.; Frijlink, H.W.; Maarschalk, K.V.D.V.; Hinrichs, W.L. Inulin, a flexible oligosaccharide I: Review of its physicochemical characteristics. *Carbohydr. Polym.* – 2015, – P.130, 405-419. [CrossRef]
62. Van Arkel, J.; Sevenier, R.; Hakkert, J.C.; Bouwmeester, H.J.; Koops, A.J.; van der Meer, I.M. Tailor-made fructan synthesis in plants: A review. *Carbohydr. Polym.* – 2013, 93, 48-56.
63. Mutanda, T.; Mokoena, M.P.; Olaniran, A.O.; Wilhelmi, B.; Whiteley, C.G. Microbial enzymatic production and applications of short-chain fructooligosaccharides and inulooligosaccharides: Recent advances and current perspectives. *J. Ind. Microbiol. Biotechnol.* – 2014, 41, 893-906.
64. Stevens, C.V. Chemical Modification of Inulin, a Valuable Renewable Resource and Its Industrial Applications / C.V. Stevens, A. Meriggi, K. Booten // *Biomacromolecules*. – 2001. –V. 2. –№ 1. – P. 1-16.
65. Barclay, T. Inulin - a versatile polysaccharide with multiple pharmaceutical and food chemical uses / T. Barclay, M. Ginic-Markovic, N. Petrovsky // *J. Excipients and Food Chem.* – 2010. –V. 1. –№ 3. P. 27-50.
66. Kurakake, M. Two Types of β - Fructofuranosidases from *Aspergillus Oryzae* Kb / M. Kurakake, et al // *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. – 2007. – № 56. – P. 591-596.
67. Cooper, P.D. The Adjuvanticity of gamma inulin, a New Vaccine Adjuvant / P.D. Cooper, C. McComb, E.J. Steele // *Vaccine*. – 1991. – № 9. – P. 408-415.
68. WO Patent 2006/024100 A1. New Polymorphic Form of Inulin and Uses Thereof. Cooper P.D., Petrovsky N. - 2006.
69. Patel, S. and Goyal, A. Functional Oligosaccharides: Production, Properties and Applications. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*. – 2011. –V.27 (5). – P. 1119-1128.
70. Erkorkmaz, B. A., Kırtel, O., Özlem, A. D. and Toksoy Öner, E. (). Development of a Cost-Effective Production Process for *Halomonas* Levan. *Bioprocess and Biosystems Engineering*. – 2018. –V.41 (11). –P. 1247-1259.

71. Afinjuomo, F., Abdella, S., Youssef, S.H., Song, Y., Garg, S. Inulin and Its Application in Drug Delivery. *Pharmaceuticals*. – 2021, 14, 855.
<https://doi.org/10.3390/ph14090855>.
72. Grasmeijer, N.; Stankovic, M.; de Waard, H.; Frijlink, H.W.; Hinrichs, W.L.J. Unraveling protein stabilization mechanisms: Vitrification and water replacement in a glass transition temperature controlled system. *Biochim. Biophys. Acta (BBA) Proteins Proteom.* – 2013. – V.1834. – P. 763-769.
73. Broesder, A.; Berends, J.M.E.; Scheepers, S.M.; Nguyen, D.N.; Frijlink, H.W.; Hinrichs, W.L.J. Ileo-Colon Targeting of the Poorly Water-Soluble Drug Celecoxib Using a pH-Dependent Coating in Combination with Self-Emulsifying Drug Delivery or Solid Dispersion Systems. *Pharmaceutics*. – 2021, 13, 731.
74. Swarup, P.; Agrawal, G.P. Solid Dispersion: A Mechanistic and Realistic Approach on Antihypertensive Drug as a Drug Carrier System. *ASSAY Drug Dev. Technol.* – 2021, 19, 282-289.
75. Traynor, J.; Mactier, R.; Geddes, C.C.; Fox, J.G. How to measure renal function in clinical practice. *BMJ* – 2006, 333, 733-737.
76. Davidson, M.H.; Maki, K.C. Effects of Dietary Inulin on Serum Lipids. *J. Nutr.* – 1999, 129, 1474S-1477S.
77. Hond, E.D.; Geypens, B.; Ghoo, Y. Effect of high performance chicory inulin on constipation. *Nutr. Res.* 2000, 20, 731-736.
78. Marteau, P.; Jacobs, H.; Cazaubiel, M.; Signoret, C.; Prevel, J.-M.; Housez, B. Effects of chicory inulin in constipated elderly people: A double-blind controlled trial. *Int. J. Food Sci. Nutr.* – 2010, 62, 164-170.
79. Leenen, C.H.M.; Dieleman, L.A. Inulin and Oligofructose in Chronic Inflammatory Bowel Disease. *J. Nutr.* – 2007, 137, 2572S-2575S.
80. Silva, D.G.; Cooper, P.D.; Petrovsky, N. Inulin-derived adjuvants efficiently promote both Th1 and Th2 immune responses *Immunol. Cell Biol.* – 2004, 82, 611-616.

81. Korbelik, M.; Cooper, P.D. Potentiation of photodynamic therapy of cancer by complement: The effect of γ -inulin. *Br. J. Cancer* – 2007, 96, 67-72.
82. Weir, C.; Oksa, A.; Millar, J.; Alexander, M.; Kynoch, N.; Walton-Weitz, Z.; MacKenzie-Wood, P.; Tam, F.; Richards, H.; Naylor, R.; et al. The Safety of an Adjuvanted Autologous Cancer Vaccine Platform in Canine Cancer Patients. *Vet. Sci.* – 2018, 5, 87.
83. Cooper, P.D.; Carter, M. The anti-melanoma activity of inulin in mice. *Mol. Immunol.* – 1986, 23, 903-908.
84. Anda-Flores, D.; Carvajal-Millan, E.; Campa-Mada, A.; Lizardi-Mendoza, J.; Rascon-Chu, A.; Tanori-Cordova, J.; Martínez-López, A.L. Polysaccharide-Based Nanoparticles for Colon-Targeted Drug Delivery Systems. *Polysaccharides*. – 2021, 2, 626-647.
85. Antunes, J.C.; Seabra, C.L.; Domingues, J.M.; Teixeira, M.O.; Nunes, C.; Costa-Lima, S.A.; Homem, N.C.; Reis, S.; Amorim, M.T.P.; Felgueiras, H.P. Drug Targeting of Inflammatory Bowel Diseases by Biomolecules. *Nanomaterials*. – 2021, 11, 2035.
86. Sun, Q.; Arif, M.; Chi, Z.; Li, G.; Liu, C.-G. Macrophages-targeting mannosylated nanoparticles based on inulin for the treatment of inflammatory bowel disease (IBD). *Int. J. Biol. Macromol.* – 2021, 169, 206-215.
87. Giri, S.; Dutta, P.; Giri, T.K. Inulin-based carriers for colon drug targeting. *J. Drug Deliv. Sci. Technol.* – 2021, 64, 102595.
88. Назаренко, М.Н. Совершенствование технологий получения инулина и фруктоза-глюкозного сиропа из топинамбура и их применения в производстве функциональных молочных продуктов: дис. ... канд. техн. наук: 05.18.01, 05.18.04 / Назаренко Максим Николаевич // Краснодар. – 2014. 171с.
89. Шаззо, Р.И. Топинамбур: биология, агротехника выращивания, место в экосистеме, технологии переработки (вчера, сегодня, завтра): монография / Р.И. Шаззо, В.Г. Кайшев, Р.А. Гиш, Р.И. Екутеч, Е.П. Корнена; под ред. Р.И. Шаззо // Краснодар: Издательский Дом – Юг. – 2013. 184с.

90. Донская, Г.А. Функциональные молочные продукты, обогащенные топинамбуром / Г.А. Донская // Технология молока. – 2007. – № 1. – С. 20-21.
91. Дождалева, М.И. Новая технология и рецептуры диабетических сахаристых кондитерских изделий / М.И. Дождалева, В.В. Гончар, Ю.Ф. Росляков, Т.В. Калашнова // Пищевая наука и технология. - 2011. - № 3. - V. 16. - P. 24-27.
92. Мельникова, В.А. Разработка технологии пищевого продукта - заменителя кофе / В.А. Мельникова, Л.С. Байдалинова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2014. – № 5-6. – С. 41-44.
93. Баранова, А.Г. Специализированные продукты питания для профилактики сахарного диабета / А.Г. Баранова, Г.М. Зайко // Сборник все российской научно-практической конференции «Инновации в развитии сферы общественного питания». Красноярск. – 2013. – С. 38-41.
94. Соколова, О.С. Инулин содержащие препараты из топинамбура и их способность связывать ионы тяжелых металлов с другими биополимерами / О.С. Соколова // Хранение и переработка сельхоз сырья. – 2009. – № 5. – С. 26-27.
95. Емелина Т.Н. Получение углеводсодержащих субстратов из вегетативной части топинамбура / Т.Н. Емелина, Т.В. Рязанова, Н.А. Чупрова // Химия растительного сырья. – 2002. – № 2. – С. 117-119.
96. Álvarez, K.; Famá, L.; Gutiérrez, T. J. In Advances in Physicochemical Properties of Biopolymers (Part 1); Martin Masuelli, D. R., Ed.; Bentham Science Publishers, – 2017; – pp 358-400.
97. Ali A. and Ahmed Sh. Recent Advances in Edible Polymer Based Hydrogels as a Sustainable Alternative to Conventional Polymers. J. Agric. Food Chem. – 2018, 66, 6940-6967.
98. Leddomado, L.S., Silva, R., Guimaraes, J.T., Balthazar, C.F., Ramos, G.L.P.A., Freitas, et al., – 2021. Technological benefits of using inulin and

- xylooligosaccharide in dulce de leche. *Food Hydrocolloid*. 110, 106158
<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106158>.
99. Paciulli, P., Littardi, P., Carini, E., Paradiso, V.M., Castellino, M., Chiavaro, E., 2020. Inulin-based emulsion filled gel as fat replacer in shortbread cookies: effects during storage. *LWT - Food Sci. Technol.* 133, 109888
<http://dx.doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109888>.
 100. Gibson, G.R., Hutkins, R., Sanders, M.E., Prescott, S.L., Reimer, R.A., Salminen, S.J., et al., 2017. Expert consensus document: The International Scientific Association for Probiotics and Prebiotics (ISAPP) consensus statement on the definition and scope of prebiotics. *Nat. Rev. Gastro. Hepat.* 14, 491. <https://doi.org/10.1038/nrgastro>. – 2017.75.
 101. Qi, X.; Zhang, Y.; Yu, H.; Xie, J. Research on the Properties of Polysaccharides, Starch, Protein, Pectin, and Fibre in Food Processing. *Foods* 2023, 12, 249. <https://doi.org/10.3390/foods12020249>.
 102. Dedhia, N.; Marathe, S.J.; Singhal, R.S. Food polysaccharides: A review on emerging microbial sources, bioactivities, nanoformulations and safety considerations. *Carbohydr. Polym.* – 2022, 287, 119355. [CrossRef].
 103. Chen, X.; Yang, J.; Shen, M.; Chen, Y.; Yu, Q.; Xie, J. Structure, function and advance application of microwave-treated polysaccharide: A review. *Trends Food Sci. Technol.* – 2022, 123, 198-209. [CrossRef].
 104. Yang, J.; Shen, M.; Luo, Y.; Wu, T.; Chen, X.; Wang, Y.; Xie, J. Advanced applications of chitosan-based hydrogels: From biosensors to intelligent food packaging system. *Trends Food Sci. Technol.* – 2021, 110, 822-832. [CrossRef].
 105. Rong, L.; Shen, M.; Wen, H.; Xiao, W.; Li, J.; Xie, J. Effects of xanthan, guar and Mesona chinensis Benth gums on the pasting, rheological, texture properties and microstructure of pea starch gels. *Food Hydrocoll.* – 2022, 125, 107391. [CrossRef].
 106. Cheng, H.; Chen, L.; McClements, D.J.; Yang, T.; Zhang, Z.; Ren, F.; Miao, M.; Tian, Y.; Jin, Z. Starch-based biodegradable packaging materials: A review

- of their preparation, characterization and diverse applications in the food industry. *Trends Food Sci. Technol.* – 2021, 114, 70-82. [CrossRef].
107. Razi, S.M.; Fahim, H.; Amirabadi, S.; Rashidinejad, A. An overview of the functional properties of egg white proteins and their application in the food industry. *Food Hydrocoll.* – 2023, 135, 108,183. [CrossRef].
 108. Munialo, C.D.; Stewart, D.; Campbell, L.; Euston, S.R. Extraction, characterisation and functional applications of sustainable alternative protein sources for future foods: A review. *Future Foods*, – 2022, 6, 100-152. [CrossRef].
 109. Singhal, S.; Swami Hulle, N.R. Citrus pectins: Structural properties, extraction methods, modifications and applications in food systems—A review. *Appl. Food Res.* – 2022, 2, 100-215. [CrossRef]
 110. Munoz-Almagro, N.; Montilla, A.; Villamiel, M. Role of pectin in the current trends towards low-glycaemic food consumption. *Food Res. Int.* – 2021, 140, 109,851. [CrossRef]
 111. Elleuch, M.; Bedigian, D.; Roiseux, O.; Besbes, S.; Blecker, C.; Attia, H. Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chem.* – 2011, 124, 411-421. [CrossRef]
 112. Pathania, S.; Kaur, N. Utilization of fruits and vegetable by-products for isolation of dietary fibres and its potential application as functional ingredients. *Bioact. Carbohydr. Diet. Fibre* – 2022, 27, 100-295. [CrossRef].
 113. Kokubun, S., Ratcliffe, I., & Williams, P. A. The interfacial, emulsification and encapsulation properties of hydrophobically modified inulin. *Carbohydrate Polymers.* – 2018, 194, 18-23.
 114. Tripodo, G., Perteghella, S., Grisoli, P., Trapani, A., Torre, M. L., & Mandracchia, D. Drug delivery of rifampicin by natural micelles based on inulin: Physicochemical properties, antibacterial activity and human macrophages uptake. *European Journal of Pharmaceutics and Biopharmaceutics.* – 2019, 136, 250-258.

115. Li, Z.; Xiao, W.; Xie, J.; Chen, Y.; Yu, Q.; Zhang, W.; Shen, M. Isolation, Characterization and Antioxidant Activity of Yam Polysaccharides. *Foods* – 2022, 11, 800c. [CrossRef] [PubMed]
116. Huang R., Xie, J. Yu Y., She M. Recent progress in the research of yam mucilage polysaccharides: Isolation, structure and bioactivities, *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 155, – 2020, Pages 1262-1269, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.11.095>)
117. Wang, Y.; Zhu, H.; Wang, X.; Yu, Y.; Xie, J. Natural Food Polysaccharides Ameliorate Inflammatory Bowel Disease and Its Mechanisms. *Foods* – 2021, 10, 1288. [CrossRef]
118. Yu Y., Shen M., Song Q, Xie J. Biological activities and pharmaceutical applications of polysaccharide from natural resources: A review. *Carbohydrate Polymers* 183 (–2018) 91–101. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.12.009>.
119. Yang, Z.; Huang, T.; Li, P.; Ai, J.; Liu, J.; Bai, W.; Tian, L. Dietary Fiber Modulates the Fermentation Patterns of Cyanidin-3-O- Glucoside in a Fiber-Type Dependent Manner. *Foods* –2021, 10, 1386. [CrossRef]
120. Fan, H.; Zhang, Y.; Swallah, M.S.; Wang, S.; Zhang, J.; Fang, J.; Lu, J.; Yu, H. Structural Characteristics of Insoluble Dietary Fiber from Okara with Different Particle Sizes and Their Prebiotic Effects in Rats Fed High-Fat Diet. *Foods* – 2022, 11, 1298. [CrossRef] [PubMed].
121. Liu L., Li M., Yuc M., Shend M., Wang Q., Yud Y, Xie J. Natural polysaccharides exhibit anti-tumor activity by targeting gut microbiota. A review. *International Journal of Biological Macromolecules* 121 (2019) 743–751. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.10.083>.
122. Usman M., Zhang C., Patil P.J., Mehmood M., Li X. Muhammad Bilal, Junaid Haider, Shabbir Ahmad, Potential applications of hydrophobically modified inulin as an active ingredient in functional foods and drugs - A review, *Carbohydrate Polymers*, Volume 252, – 2021, 117,176. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.117176>.

123. Xinhuan Wan, Hao Guo, Yiyu Liang, Changzheng Zhou, Zihao Liu, Kunwei Li, Fengju Niu, Xin Zhai, Lizhu Wang, The physiological functions and pharmaceutical applications of inulin: A review. *Carbohydrate Polymers*, Volume 246, –2020, 116589, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol>. – 2020.116589.
124. Tawfick M.M., Xie H., Zhao C., Shao P., Farag M.A. Inulin fructans in diet: Role in gut homeostasis, immunity, health outcomes and potential therapeutics, *International Journal of Biological Macromolecules*, Volume 208, –2022, Pages 948-961, <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac>. –2022.03.218.
125. Piao X., Huang J., Sun Yu, Zhao Y., Zheng B., Zhou Y., Yu H., Zhou R., Cullen P.J. Inulin for surimi gel fortification: Performance and molecular weight-dependent effects, *Carbohydrate Polymers*, Volume 305, 2023, 120550, <https://doi.org/10.1016/j.carbpol>. –2023.120550.
126. Gupta P., Toksha B., Rahaman M. A Review on Biodegradable Packaging Films from Vegetative and Food Waste *Chemical Record*. – 2022, 22 (7), art. no. –202100326. <https://doi.org/10.1002/tcr.202100326>.
127. Chamas A., Moon H., Zheng J., Qiu Y., Tabassum T., Jang J.H., Abu-Omar M., Scott S. L., Suh S. Degradation Rates of Plastics in the Environment, *ACS Sustainable Chem. Eng.* 8 (9) (2020) 3494–3511, <https://doi.org/10.1021/acssuschemeng.9b06635>.
128. Kumar R., Verma A., Shome A., et al. Impacts of Plastic Pollution on Ecosystem Services, Sustainable Development Goals, and Need to Focus on Circular Economy and Policy Interventions, *Sustainability* 13 (17) (2021) 9963.
129. Baranwal J., Barse B., Fais A., Delogu G.L., Kumar A. Biopolymer: A Sustainable Material for Food and Medical Applications. 2022, *Polymers*, 14 (5), art. no. 983 <https://doi.org/10.3390/polym14050983>
130. Díaz-Montes, E. Polysaccharides: Sources, Characteristics, Properties, and Their Application in Biodegradable Films. *Polysaccharides*, –2022, 3, 480–501. <https://doi.org/10.3390/polysaccharides3030029>.

131. Elsevier, B.V. Scopus. Available online: <https://www.scopus.com> (accessed on January 17, 2023).
132. Beluci N.D.C.L., Santos J.D., de Carvalho F.A., Yamashita F. Reactive biodegradable extruded blends of thermoplastic starch and polyesters (2023) Carbohydrate Polymer Technologies and Applications, 5, art. no. 100274, Cited 0 times. DOI: 10.1016/j.carpta.2022.100274.
133. Liu W., Liu T., Xin J., Zhang J., Muhidinov Z.K., Liu L.S. Properties of poly(butyleneadipate-co-terephthalate) and sunflower head residue biocomposites. Journal of Applied Polymer Science, –2017, – v.134 (13), p.44644-44651. doi: 10.1002/APP44644.
134. Bourtoom, T.; Chinnan, M.S. Preparation and Properties of Rice Starch-Chitosan Blend Biodegradable Film. LWT-Food Sci. Technol. – 2008, 41, 1633-1641. [CrossRef]
135. Acevedo-Fani, A.; Soliva-Fortuny, R.; Martín-Belloso, O. Nanoemulsions as Edible Coatings. Curr. Opin. Food Sci. – 2017, 15, 43-49. [CrossRef]
136. Tahir, H.E.; Xiaobo, Z.; Mahunu, G.K.; Arslan, M.; Abdalhai, M.; Zhihua, L. Recent Developments in Gum Edible Coating Applications for Fruits and Vegetables Preservation: A Review. Carbohydr. Polym. – 2019, 224, 115141. [CrossRef]
137. Патент TJ 563, Мухидинов З.К., Тешаев Х.И., Джонмуродов А.С., Лиу Л.Ш. Малый, НПИ Центр Республика Таджикистан, бюл. № 86, –2013.
138. Staub, A.M. Removeal of Protein-Sevag Method [Text] / A.M. Staub // Methods in Carbohydrate Chemistry. –1965. –Vol. 5. –P.5-6.
139. Bradford, M. M. A rapid and sensitive method for the quantitation of microgram quantities of protein utilizing the principle of protein-dye binding [Text] / M. M. Bradford // Analytical Biochemistry. –1976. –Vol.72(1-2). –P. 248–254. [https://doi.org/10.1016/0003-2697\(76\)90527-3](https://doi.org/10.1016/0003-2697(76)90527-3).
140. Cuesta, G. Quantitative determination of pneumococcal capsular polysaccharide serotype 14 using a modification of phenol–sulfuric acid method [Text] / G. Cuesta, N. Suarez, M. I. Bessio, F. Ferreira, H. Massaldi //

- Journal of Microbiological Methods. – 2003. –Vol. 52(1). –P. 69–73.
[https://doi.org/10.1016/S0167-7012\(02\)00151-3](https://doi.org/10.1016/S0167-7012(02)00151-3).
141. Fishman, M. L. Flash extraction of pectin from orange albedo by steam injection [Text] / M. L. Fishman, P. N. Walker, H. K. Chau, A. T. Hotchkiss // -Biomacromolecules. –2000. –Vol.4(4). –P.880-889.
<https://doi.org/10.1021/bm020122e>.
142. Штанчаев, А.Ш. Турбидиметрическое титрование зеина кукурузной муки / А.Ш. Штанчаев, А.С. Насриддинов, Х.И. Тешаев, З.К. Мухидинов, Д.Х. Халиков // Доклады АН РТ. – 2007. – Т. 50. – № 9. –С. 725-730.
143. Pan L, Sinden MR, Kennedy AH, Chai H, Watson LE, Graham TL, et al. Bioactive constituents of *Helianthus tuberosus* L. [Jerusalem artichoke]. *Phytochemistry Letters* – 2009; 2[1]: 15-18.
144. Talipova M. Lipids of *Helianthus tuberosus* L. *Chemistry of Natural Compounds* – 2001; 37[3]: 213–215.
145. Rasouli H. Polyphenols and their benefits: A review / H. Rasouli, M.H. Farzaei, R. Khodarahmi // *International Journal of Food Properties*. – 2017. – P. 1-41. DOI: 10.1080/10942912.2017.1354017.
146. Gharras, H.E. Polyphenols: food sources, properties and applications – a review / H.E. Gharras // *International Journal of Food Science and Technology*. – 2009. – V. 44. – P. 2512–2518.
147. Sinha D. Pharmacological importance of polyphenols: a review / D. Sinha // *Int. Res. J. Pharm.* – 2019. – V. 10 (9). – P. 13-23.
<http://dx.doi.org/10.7897/2230-8407.1009255>.
148. Fukumoto, L. R. Assessing antioxidant and prooxidant activities of phenolic compounds / L. R. Fukumoto, G. Mazza // *J Agric Food Chem.* – 2000. – V. 48(8). – P. 3597-604.
149. Dai J. Plant phenolics: extraction, analysis and their antioxidant and anticancer properties / J. Dai, R.J. Mumper // *Molecules*. – 2010. – V. 15(10). – P. 7313-52. PMID: 20966876; PMCID: PMC6259146. DOI: 10.3390/molecules15107313.

150. Fang, J.Y. Encapsulation of polyphenols - a review / J.Y. Fang, B. R. Bhandari // Trends in Food Science & Technology. – 2010. – V. 21. – P. 510-523.
151. Peanparkdeea, M. Microencapsulation: a review of applications in the food and pharmaceutical industries / M. Peanparkdeea, S. Iwamoto, R. Yamauchi // Reviews in Agricultural Science. – 2016. – V. 4. – P. 56 – 65.
152. Мухидинов З.К. Пектин – основа для создания функциональной пищи / Мухидинов З.К., Бобокалонов Д.Т., Усманова С.Р. // Душанбе, ООО «Сифат-Офсет» – 2019. -192 с.
153. Stuart B.H. Infrared Spectroscopy: Fundamentals and Applications. Methods / B.H. Stuart // Analytical Techniques in the Sciences, Ando DJ (Ed.), England, Wiley. – 2004. 8.
154. Kannan R. Fourier Transform Infrared Spectroscopy Analysis of Seagrass Polyphenols / R. Kannan, R. Ragupathi, R. Arumugam, P. Anantharaman // Current Bioactive Compounds. – 2011. – V. 7. – № 2. – P. 119.
155. Chen F. Analysis of Phenolic Acids of Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) Responding to Salt-Stress by Liquid Chromatography/Tandem Mass Spectrometry / F. Chen, X. Long, Z. Liu, H. Shao, L. Liu // Hindawi Publishing Corporation. The Scientific World Journal. – 2014. – P. 8. Article ID 568043, <http://dx.doi.org/10.1155/2014/568043>.
156. Sharopov F. Chlorogenic and 1,5-dicaffeoylquinic acid-rich extract of topinambur (*Helianthus tuberosus* L.) exhibits strong antioxidant activity and weak cytotoxicity / F. Sharopov, B. Wetterauer, I. Gulmurodov, D. Khalifaev, R. Safarzoda, M. Sobeh, M. Wink // Pharmaceutical Chemistry Journal. - October, 2020. – V. 54. – № 7. (Russian Original Vol. 54, –№. 7, July, 2020).
157. Pan L. “Bioactive constituents of *Helianthus tuberosus* (Jerusalem artichoke)” / L. Pan, M. R. Sinden, A. H. Kennedy et al // Phytochemistry Letters. – 2009. – V. 2. – №. 1. – P. 15-18.
158. Yuan, X. “Free radical scavenging activities and bioactive substances of Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) leaves” / X. Yuan, M. Gao, H. Xiao, C. Tan, Y. Du // Food Chemistry – 2012. – V. 133. – № 1. – P. 10–14.

159. Jin, U. "A phenolic compound, 5-caffeoylquinic acid (chlorogenic acid), is a new type and strong matrix metalloproteinase-9 inhibitor: isolation and identification from methanol extract of *Euonymus alatus*" / U. Jin, J. Lee, S. Kang et al // *Life Sciences*. – 2005. – V. 77. – № 22. – P. 2760-2769.
160. Голубев, В.Р. Топинамбур. Состав, свойства, способы переработки, области применения / Голубев В.Р. Волкова Н.В., Кушалаков Х. М // -М.: 1995, - С. 60 - 68.
161. Квитайло, И.В. Сравнительный биохимический анализ клубней топинамбура различных сортов / И.В. Квитайло, М.А. Кожухова, М.В. Степура // *Известия вузов. Пищевая технология*. – 2010. – № 2-3. – С. 20-21.
162. Temkov, M. Characterization of inulin from *Helianthus tuberosus* L. obtained by different extraction methods – Comparative study / M. Temkov, N. Petkova, P. Denev, A. Krastanov // *Scientific works of University of food technologies. Plovdiv, Bulgaria*. – 2015. – V. LXII. м– P. 461-464.
163. Srinameb, B. Preparation of Inulin Powder from Jerusalem Artichoke (*Helianthus tuberosus* L.) / B. Srinameb, S. Nuchadomrong, S. Jogloy, A. Patanothai, S. Srijaranai // *Tuber. Plant Foods Hum Nutr*. – 2015. doi:10.1007/s11130-015-0480-y
164. Lingyun, W. Studies on the extracting technical conditions of inulin from Jerusalem artichoke tubers / W. Lingyun, W. Jianhua, Z. Xiaodong, T. Da, Y. Yalin, C. Chenggang, F. Tianhua, Z. Fan // *Journal of Food Engineering*. – 2007. – V. 79. – P. 1087-1093.
165. Petkova L. Ultrasound-assisted extraction and characterization of inulin-type fructan from roots of elecampane (*Inula helenium* L.) / L. Petkova, N. Ognyanov, M. Todorova, M. Denev // *Acta Scientifica Naturalis*. – 2015. – № 1. – V. – P. 225-235.
166. Tewari, S. Microwave-Assisted Extraction of Inulin from Chicory Roots Using Response Surface Methodology / S. Tewari, K. Ramalakshmi, L. Methre, L. J. Mohan Rao // *Journal of Nutrition and Food Science*. – 2015. – V. 5, 1.

167. Melanie H. Characterization of Inulin from Local Red Dahlia (*Dahlia* sp. L.) Tubers by Infrared Spectroscopy / H. Melanie, A. Susilowati, Y.M. Iskandar, P.D. Lotulung, D.G.S. Andayani // *Procedia Chemistry*. – 2015. – V. 16. – P. 78-84. doi.org/10.1016/j.proche.2015.12.027.
168. Shoaib, M. Inulin: Properties, health benefits, and food applications/ M. Shoaib, A. Shehzada, M. Omar, A. Rakhaa, H. Razaa, H. Rizwan Sharif, A. Shakeela, A. Ansaria, S. Niazia // *Carbohydrate Polymers*. – 2016. – V. 147. – P. 444-454.
169. Colwell, J.A. Type II diabetes, prediabetes, and the metabolic syndrome// *JAMA: J.A. Colwell* // *The Journal of the American Medical Association*. – 2011. – № 306. – P. 215-238.
170. Kaur, N. Applications of inulin and oligofructose in health and nutrition / N. Kaur, A. Gupta // *Journal of Biosciences*. – 2002. – № 27. – P. 703–714.
171. Meyer, D. Inulin. In: Phillips, G.O., Williams, P.A. (Eds.),// *Handbook of Hydrocolloids* / D. Meyer, J.P. Blaauuhoed // CRC Press, Boca Raton. –2009. – P. 829-849.
172. Van Loo, J. On the presence of inulin and oligofructose as natural ingredients in the western diet / J. Van Loo, P. Coussement, L. de Leenheer, H. Hoebregs, G. Smits // *Critl Rev Food Sci Nutr*. – 1995. –V. 35. – P. 525–552. DOI: 10.1080/10408399509527714.
173. Шуваева, Г.П. Топинамбур в производстве диетических напитков / Г.П. Шуваева, А.Ю. Дымова, К.К. Полянский // *Хранение и переработка сельхозсырья*. – 2002. – № 12. – С. 26-28.
174. Franck, A., Technological functionality of inulin and oligofructose. Br / A. Franck // *J. Nutr*. – 2002. – № 87. – P. 287–291.
175. Ronkart, S.N. Impact of the Crystallization Pathway of Inulin on Its Mono-Hydrate to Hemi- Hydrate Thermal Transition / S.N. Ronkart, C. Deroanne, M. Paquot, C. Fougnyes, C.S. Blecker // *Food Chemistry*. – 2010. – № 119. - P. 317-322.

176. Dan, A. Physicochemical studies on the Biopolymer Inulin: A critical Evaluation of its self-aggregation, aggregation-morphology, interaction with water, and thermal stability / A. Dan, S. Ghosh, S.P. Moulik // *Biopolymers*. – 2009. – V. 91. – № 9. – P. 687-699.
177. Li, W. Extraction, degree of polymerization determination and prebiotic effect evaluation of inulin from Jerusalem artichoke / W. Li, J. Zhang, C. Yu, Q. Li, F. Dong, G. Wang, G. Gu, Z. Guo // *Carbohydrate Polymers*. – 2015. – № 121. – P. 315–319.
178. Muhidinov Z.K., Teshaev Kh., Jonmurodov A., Khalikov D and Fishman M. Physico-chemical characterization of pectic polysaccharides from various sources obtained by steam assisted flash extraction (SAFE) // *Macromolecular Symposia*. – 2012. –V. 317-318, issue 1. – P.142-148.
<https://doi.org/10.1002/masy.201100108>.
179. Lo´pez-Molina, D. Molecular properties and prebiotic effect of inulin obtained from artichoke (*Cynara scolymus* L.) / D. Lo´pez-Molina, M.D. Navarro-Mart´inez, F.R. Melgarejo, et al // *Phytochemistry*. – 2005. – № 66. – P. 1476–1484.
180. Kitamura, S. Harada T. Conformation of (2→1)-β-d-fructan in aqueous solution. Int / S. Kitamura, T. Hirano, K. Takeo, M. Mimura, K. Kajiwara, B. T. Stokke // *J. Biol. Macromol.* – 1994. – № 16. – P. 313–317.
181. Wolff, D. Globular shape of high molar mass inulin revealed by static light scattering and viscometry Springer / D. Wolff, S. Czapla, A.G. Heyer, S. Radosta, P. Mischnick // *J. Polymer*. – 2000. – № 41. – P. 8009–8016.
182. Podzimek, S. Light Scattering, Size Exclusion Chromatography and Asymmetric Flow Field Flow Fractionation powerful tools for the characterization of polymers, protein and nanoparticles / S. Podzimek // *A John Wiley & Sons, Inc. - New Jersey: Hoboken Publisher*. – 2011. – P. 333.
183. French, A. D. Accessible conformations of the B-D-(2–1)-and-(2–6)-linked D-fructans inulin and levan / A. D. French // *Carbohydrate Research*. – 1988. – № 176. – P. 17–29.

184. Vereyken, I. J. Structural requirements of the fructan–lipid interaction / I. J. Vereyken, J. A. van Kuik, T. H. Evers, P. J. Rijken, & B. de Kruijff // *Biophysical Journal*. – 2003. – № 84. – P. 3147–3154.
185. Oka, M. Studies on the Conformational Aspects of Inulin Oligomers / M. Oka, et al // *Chemical & Pharmaceutical Bulletin*. – 1992. – № 40. – P. 1203-1207.
186. Silva, D. G. Inulin-derived adjuvants efficiently promote both Th1 and Th2 immune responses / D. G. Silva, P.D. Cooper, N. Petrovsky // *Immunology and Cell Biology*. – 2004. – V 82, – № 6. – P. 611-616.
<https://doi.org/10.1111/j.1440-1711.2004.01290.x> .
187. Cooper, P.D. Anti-Complementary Action of Polymorphic "Solubility Forms" Of Particulate Inulin / P.D. Cooper and M. Carter // *Molecular Immunology*. – 1986. – V. 23. – P. 895- 901.
188. Characterization of Fructans. In *Natural Polymer Resources: Isolation, Separation and Characterization*. Ed. by Peter A. Williams. Royal Society of Chemistry. – 2011. – P. 27-31.
189. Praznik, W. Analysis and molecular composition of fructans from different plant sources / W. Praznik, R. Lo ¨ppert, A. Huber // In *Recent Advances in Fructooligosaccharides Research*, (Eds) N. Shiomi, N. Benkeblia and S. Onodera, Research Signpost, Kerala (India). – 2007. – P. 93–117.
190. Valluru, R. Plant fructans in stress environments: emerging concepts and future prospects / R. Valluru, W. Van den Ende // *Journal of experimental botany*. – 2008. – V. 59. № 11. – P. 2905-2916. <https://doi.org/10.1093/jxb/ern164>.
191. Arnon, Z.A. Inulin nanostructures: The sweet-spot of carbohydrate self-assembly / Z.A. Arnon, M. Grabarics, T. Kreiser, A. Raveh, K. Pagel, E // *Gazit BioRxiv*. – 2021. <https://doi.org/10.1101/2021.07.13.451276>.
192. Adler-Abramovich, L. Self-Assembled Organic Nanostructures with Metallic-Like Stiffness / L. Adler-Abramovich, N. Kol, I. Yanai, D. Barlam, R.Z. Shneck, E. Gazit and I. Rouso // *Angew. Chemie Int. Ed.* – 2010. – V. 49. – P. 9939–9942. <https://doi.org/10.1002/anie.201002037>.

193. Arnon, Z. A. Opal-like Multicolor Appearance of Self-Assembled Photonic Array / Z. A. Arnon, D. Pinotsi, M. Schmidt, et al // ACS Applied Materials and Interfaces. – 2018. – V. 10. – № 24. – P. 20783–20789.
<https://doi.org/10.1021/acsami.8b04912>
194. Valencia G. A. Self-Assembled Carbohydrate Polymers for Food Applications: A Review / G. A. Valencia, Ehsan Nazarzadeh Zare, Pooyan Makvandi, J. Gutiérrez Tomy. // Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety. – 2019. – V. 18, – № 6. – P. 2009-2024. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12499>
195. Ma, Z. Copolymers containing carbohydrates and other biomolecules: design, synthesis and applications / Z. Ma, X. Zhu // Journal of Materials Chemistry B. – 2019. – V. 7. № 9. – P. 1361-1378. <https://doi.org/10.1039/C8TB03162B>
196. Gao, C. Exploring and Controlling the Polymorphism in Supramolecular Assemblies of Carbohydrates and Proteins / C. Gao, G. Chen // Acc. Chem. Res. – 2020. – V. 53. – № 4. – P. 740–751.
<https://doi.org/10.1021/acs.accounts.9b00552>
197. Gim, S. Carbohydrate-based nanomaterials for biomedical applications / S. Gim, Y. Zhu, P.H. Seeberger, M. Delbianco, Wiley interdisciplinary reviews: nanomedicine and nanobiotechnology. – 2019. – V. 11. – № 5. – P. 1558.
[doi:10.1002/wnan.1558](https://doi.org/10.1002/wnan.1558).
198. Cazón, P.; Velazquez, G.; Ramírez, J.A.; Vázquez, M. Polysaccharide-Based Films and Coatings for Food Packaging: A Review. Food Hydrocoll. – 2017, – V. 68. – P136–148. [CrossRef]
199. Singh R.S., Singh T., Hassan M., Larroche C. Biofuels from inulin-rich feedstocks: A comprehensive review, Bioresource Technology. – 2022. – V. 346. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2021.126606>.
200. Krish naiah D, Sarbatly R, Bono A. Phytochemical antioxidants for health and medicine: A move towards nature. Biotechnol Mol Biol Rev. – 2007. – V.1. – P. 97-104.
201. Evans W.C. Trease and Evans Pharmacognosy. WB. Saunders. London. –

- 2002.
202. Olabanji. S.O., Makanji. O.V., Ceccato. D., Buoso. M.C., Haqu. A.M., Cherubini. R. and Moschini. G.. PIGE-PIXE analysis of medicinal plants and vegetables of pharmacological importance. Biol. Trace Elem. Res. – 1997. – V.58 (3). – P. 223-236.
203. Salena Suleman Khan, Viqar Uddin Ahmad, Nikhat Saba and et Eremurus Persicus, A new source of medically important compounds. Pak. J. Bot. – 2011. – V.43 (5). – P. 2311-2313.
204. Changfeng Hu, Qingjun Kong, Deyu Yang, Yuanjiang Pan. Isolation and structural characterization of a novel galactomannan from Eremurus anisopterus (Ker. et Kir) Regel roots. Carbohydrate Polymers. – 2011. – V.84. – P. 402- 406.
205. Бакирова Г.А. Глюкоманнаны и фруктозаны Eremurus cristatus, их структура и свойства. Автореферат диссертации на соискание уч. степени кандидата химических наук. Бишкек. – 2016.
206. D. A. Rakhimov, A. Dzhumamuratova, and E. S. Kondratenko. Polysaccharides of Eremurus . XV. Structure of the glucomannan of Eremurus lactiflorus Khimiya Prirodnikh Soedinenii. – 1982. – №6. – P. 778.
207. Hu C., Kong Q, Yang D, Pan Y. Isolation and structural characterization of a novel galactomannan from Eremurus anisopterus (Ker. et Kir) Regel roots / Carbohydrate Polymers. – 2011. – №84. – P. 402–406.
208. Martino F, Martino E, Morrone F, Carnevali E, Forcone R, Niglio T. Effect of dietary supplementation with glucomannan on plasma total cholesterol and low density lipoprotein cholesterol in hypercholesterolemic children. Nutr Metab Cardiovasc Dis. – 2005. – №15 (3). – P.174–180.
209. Chen HL, Sheu WH, Tai TS, Liaw YP, Chen YC (February 2003). "Konjac supplement alleviated hypercholesterolemia and hyperglycemia in type 2 diabetic subjects--a randomized double-blind trial". J Am Coll Nutr. – 2003. – №22 (1). – P.36–42. PMID 12569112. doi:10.1080/07315724.2003.10719273
210. Каримов Х.Х. Некоторые эколого-физиологические особенности

- эфемероидов Западного Памира-Алая // Экологическая физиология растений Таджикистана. Душанбе. – 1996. – С. 5-32.
211. Kambiz Jahanbin, Masoumeh Beigi. Characterization of a new glucomannan from *Eremurus spectabilis* roots \\\ Proceedings of The IRES 5th International Conference, Barcelona, Spain. – 2015. – P. 67-71.
212. Emily H. K. Sin. The extraction and fractionation of waxes from biomass. PhD thesis. June, – 2012. – P.334.
213. Spigno, G., Tramelli, L. and De Faveri, D.M. Effects of extraction time, temperature and solvent on concentration and antioxidant activity of grape marc phenolics. *Journal of Food Engineering*. – 2007. – V.81. – P. 200-208.
214. Staub A.M., “Removal of protein – Sevag method,” *Methods in Carbohydrate Chemistry*, 5: Academic Press. – 1965.
215. Сафаров Е. Абдуллаев А., Джумаев Б.Б., Мухидинов З.К. Содержание углеводов из корнеклубнях Эремуруса Гиссарского. *Вестник национального Университета*. – 2016. – №1/3 (200). – С. 183-186.
216. Renard, C. M. G. C. Studies on apple protopectin I: extraction of insoluble pectin by chemical means / C. M. G. C. Renard, A. G. J. Voragen, J. Thibault et al. // *Carbohydr. Polym.* – 1990. – № 12. – P. 9-25.
217. Dobrange E., Peshev D., Loedolff B., Van den Ende W. Fructans as immunomodulatory and antiviral agents: the case of *Echinacea* // *Biomolecules*. – 2019. – V. 9(10). pii: E615. doi: 10.3390/biom9100615.
218. Zeaiter Z., Regonesi M.E., Cavini S., Labra M., Sello G., Di Gennaro P. Extraction and characterization of inulin-type fructans from artichoke wastes and their effect on the growth of intestinal bacteria associated with health // *Biomed Res Int*. – 2019. 1083952. doi: 10.1155/2019/1083952.
219. Watson A.W., Houghton D., Avery P.J., Stewart C., Vaughan E.E., Meyer P.D., de Bos Kuil M.J.J., Weijs P.J.M., Brandt K. Changes in stool frequency following chicory inulin consumption, and effects on stool consistency, quality of life and composition of gut microbiota. *Food Hydrocoll.* – 2019. – V. 96. – P. 688–698. doi: 10.1016/j.foodhyd.2019.06.006.

220. Le Bastard Q., Chapelet G., Javaudin F., Lepelletier D., Batard E., Montassier E. The effects of inulin on gut microbial composition: a systematic review of evidence from human studies. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis.* – 2019. – V. 39. – P. 403–413. doi: 10.1007/s10096-019-03721-w
221. Wong J.M., de Souza R., Kendall C.W., Emam A., Jenkins D.J. Colonic health: fermentation and short chain fatty acids. *J Clin Gastroenterol.* – 2006. – V. 40. – P. 235–243
222. Song J., Li Q., Everaert N., Liu R., Zheng M., Zhao G., Wen J. Effects of inulin supplementation on intestinal barrier function and immunity in specific pathogen-free chickens with *Salmonella* infection. *J Anim Sci.* – 2020. pii: skz396. doi: 10.1093/jas/skz396
223. Guaragni A., Boiago M.M., Bottari N.B., Morsch V.M., Lopes T.F., Schafer da Silva A. Feed supplementation with inulin on broiler performance and meat quality challenged with *Clostridium perfringens*: Infection and prebiotic impacts. *Microb Pathog.* – 2019. – V. 139. doi: 10.1016/j.micpath.2019.103889
224. Shang H., Zhao J., Dong X., Guo Y., Zhang H., Cheng J., Zhou H. Inulin improves the egg production performance and affects the cecum microbiota of laying hens // *Int J Biol Macromol.* – 2019a. pii: S0141-8130(19)37832-8. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.11.137 72.
225. Shang H., Zhang H., Guo Y., Wu H., Zhang N. Effects of inulin supplementation in laying hens diet on the antioxidant capacity of refrigerated stored eggs // *Int J Biol Macromol.* – 2019b. pii: S0141- 8130(19)33781-X. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2019.10.234
226. Lepine A.F.P., Konstanti P., Borewicz K., Resink J.W., de Wit N.J., Vos P., Smidt H., Mes J.J. Combined dietary supplementation of long chain inulin and *Lactobacillus acidophilus* W37 supports oral vaccination efficacy against *Salmonella typhimurium* in piglets // *Sci Rep.* – 2019. – V. 9. doi: 10.1038/s41598-019-54353-1

227. Wang W., Chen D., Yu B., Huang Z., Luo Y., Zheng P., Mao X., Yu J., Luo J., He J. Effect of dietary inulin supplementation on growth performance, carcass traits, and meat quality in growing-finishing pigs. *Animals (Basel)*. – 2019b. – V. 9. pii: E840. doi: 10.3390/ani9100840
228. Yan M.R., Welch R., Rush E.C., Xiang X., Wang X. A Sustainable wholesome foodstuff; health effects and potential dietotherapy applications of yacon // *Nutrients*. – 2019. – V. 11. pii: E2632. doi: 10.3390/nu11112632
229. Gokhale S., Bhaduri A. Provitamin D3 modulation through prebiotics supplementation: simulation based assessment // *Sci Rep*. – 2019. – V. 9. (1):19267. doi: 10.1038/s41598-019-55699-2
230. Haiping D., Zhao A., Qi W., Yang X., Ren D. Supplementation of inulin with various degree of polymerization ameliorates liver injury and gut microbiota dysbiosis in high fat-fed obese mice. *J Agric Food Chem*. – 2020. doi: 10.1021/acs.jafc.9b06571
231. Barszcz M., Taciak M., Tuśnio A., Święch E., Skomiał J. Dose-dependent effects of two inulin types differing in chain length on the small intestinal morphology, contractility and proinflammatory cytokine gene expression in piglets // *Arch Anim Nutr*. – 2019. – P. 1-14. doi: 10.1080/1745039X.2019.1697140
232. Chi L., Khan I., Lin Z., Zhang J., Lee M.Y.S., Leong W., Hsiao W.L.W., Zheng Y. Fructooligosaccharides from *Morinda officinalis* remodeled gut microbiota and alleviated depression features in a stress rat model // *Phytomedicine*. – 2019. – V. 67:153157. doi: 10.1016/j.phymed.2019.153157
233. Wang L., Yang H., Huang H., Zhang C., Zuo H.X., Xu P., Niu Y.M., Wu S.S. Inulin-type fructans supplementation improves glycemic control for the prediabetes and type 2 diabetes populations: results from a GRADE-assessed systematic review and dose-response meta-analysis of 33 randomized controlled trials // *J Transl Med*. – 2019a. – V. 17:410. doi: 10.1186/s12967-019-02159-0

234. Wang Z., Zhang X., Zhu L., Yang X., He F., Wang T., Bao T., Lu H., Wang H., Yang S. Inulin alleviates inflammation of alcoholic liver disease via SCFAs-inducing suppression of M1 and facilitation of M2 macrophages in mice. *Int Immunopharmacol.* – 2020. – V. 78:106062. doi: 10.1016/j.intimp.2019.106062
235. Gao T., Jiao Y., Liu Y., Li T., Wang Z., Wang D. Protective effects of konjac and inulin extracts on type 1 and type 2 diabetes // *J Diabetes Res.* – 2019. 3872182. doi: 10.1155/2019/3872182
236. Shoaib M., Shehzad A., Omar M., Rakha A., Raza H., Sharif H.R., Shakeel A., Ansari A., Niazi S. Inulin: properties, health benefits and food applications // *Carbohydr Polym.* – 2016. – V. 147. – P. 444–454. doi: 10.1016/j.carbpol.2016.04.020
237. Mazraeh R., Azizi-Soleiman F., Jazayeri S.M.H.M., Noori S.M.A. Effect of inulin-type fructans in patients undergoing cancer treatments: A systematic review. *Pak J Med Sci.* – 2019. – V. 35. – P. 575–580. doi: 10.12669/pjms.35.2.701
238. Becerril-Alarcon Y., Campos-Gomez S., Valdez-Andrade J.J., Campos-Gomez K.A., Reyes-Barretero D.Y., Benítez-Arciniega A.D., Valdes-Ramos R., Soto-Pina A.E. Inulin supplementation reduces systolic blood pressure in women with breast cancer undergoing neoadjuvant chemotherapy // *Cardiovasc Ther.* – 2019. 5707150. doi: 10.1155/2019/5707150
239. Deng P., Hoffman J.B., Petriello M.C., Wang C.Y., Li X.S., Kraemer M.P. Morris A.J., Hennig B. Dietary inulin decreases circulating ceramides by suppressing neutral sphingomyelinase expression and activity in mice. *J Lipid Res.* – 2020. – V. 61. – P. 45–53. doi: 10.1194/jlr.RA119000346
240. Mensink M.A., Frijlink H.W., van der Voort Maarschalk K., Hinrichs W.L. Inulin, a flexible oligosaccharide. II: Review of its pharmaceutical applications. *Carbohydr Polym.* – 2015b. – V. 134. – P. 418- 428. doi: 10.1016/j.carbpol.2015.08.022

241. Надежкина М.С., Сагина О.А. Инулин: свойства, применение. Мировой рынок инулина // Modern Science. – 2020. – № 1-2. – С. 76–80.
242. Barkhatova T.V., Nazarenko M.N., Kozhukhova M.A., Khripko I.A. Obtaining and identification of inulin from Jerusalem artichoke (*Helianthus tuberosus*) tubers // Foods and Raw Materials. – 2015. – V. 3. – No. 2. – P. 13–22.
243. Большая советская энциклопедия, изд. 3-е, М. Советская энциклопедия. – 1972. – Т.10. – С. 344.
244. Kathy R. Inulin and oligofructose: what are they? // The Journal of Nutrition. – 1999. – V. 129. – P. 1402–1406.
245. Michalska, A. The Influence of inulin on the retention of polyphenolic compounds during the drying of blackcurrant juice / A. Michalska, A. Wojdyło, J. Brzezowska, J. Majerska, E. Ciska // Molecules. – 2019. – V. 24. pii: E4167. doi: 10.3390/molecules24224167
246. <https://iz.ru/698067/2018-01-20/zavod-po-proizvodstvu-inulina-v-lipetckoi-oblasti-6-let-ishchet-investorov>
247. <https://www.inproex.ru/project/641>
248. <https://pravdaurfo.ru/articles/132440-kitaycy-nedovezli-do-tlk-yuzhnouralskiy-70>
249. <http://inotomsk.ru/companies-catalog/ooo-krasota-sm/products>
250. Лебедев, А.Б. Разработка кулинарных соусов для функционального и диетического питания на основе топинамбура/ А.Б. Лебедев, М.К. Алтуньян, А.В. Маликов // II Всесоюз. науч.-практ. конф. «Проблемы возделывания и использования». – Тез. докл. – Воронеж. – 1990. – С. 84-85.
251. Винницкая, В.Ф. Разработка технологии переработки топинамбура для производства функциональных хлебопродуктов в цчр / В.Ф. Винницкая, С.С. Комаров // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2013. – № 2. – С. 59-63.
252. Дождалева, М.И. Разработка технологий и рецептур диабетических сахаристых кондитерских изделий с использованием продуктов

- переработки клубней топинамбура / М.И. Дождалева, В.В. Гончар, Т.В. Калашнова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2011. – № 2-3. – С. 66-68.
253. Казакова, О.Н. Оптимизация рецептуры песочного печенья для диабетиков с растительными добавками / О.Н. Казакова, О.Я. Мезенова // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2012. – № 1. – С. 53-56.
254. Мезенова, О.Я. Моделирование рецептуры диабетического песочного печенья с добавлением стевии и топинамбура / О.Я. Мезенова, О.Н. Казакова // Вестник Международной академии холода. – 2010. – № 4. – С. 23-26.
255. Тертычная, Т.Н. Повышение пищевой ценности кексов за счет использования перспективных растительных добавок/ Т.Н. Тертычная, Е.Е. Курчаева, И.В. Мажулина, В.С. Агibalова, И.С. Писарева // Вестник ВГАУ. – 2013. – № 1. – С. 291-297.
256. Умирзакова, С.Х. Топинамбур в производстве галет / С.Х. Умирзакова, Б.Е. Солтыбаева // Вестник Алматинского технологического университета. – 2012. – № 4. – С. 69-73.
257. Сафронова, Т.Н. Новый вид продукта переработки топинамбура / Т.Н. Сафронова, Л.Г. Ермош, И.П. Березовикова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. – 2010. – № 9. – С. 168-174.
258. Амирханов, К.Ж. Комплексное использование мясного и растительного сырья в производстве формованного мясопродукта / К.Ж. Амирханов // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2009. – № 11. – С. 76-80.
259. Устинова, А.В. Топинамбур и продукты его переработки в функциональных мясных продуктах / А.В. Устинова, А.С. Дыдыкин // Мясная индустрия. – 2012. – № 2. – С. 19-21.
260. Алтуньян, С.В. Структурообразователи в производстве растительнорыбных соусов функционального назначения /Алтуньян С.В.,

Иванова Е.Е., Алтуньян М.К.//Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2014. – № 101. – С. 1666-1675.

261. Екутеч, Р.И. Использование углеводного комплекса клубней сохраняемого в грунте топинамбура / Р.И. Екутеч, Р.И. Шаззо, Г.А. Купин, и др. // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2009. – №5. – С.81-83.

Список публикаций по теме диссертации:

I. Статьи в рецензируемых журналах

[1-А]. Ашуров, А. И. Полисахариды из корнеклубней: выделение, свойства и применение/ А.И. Ашуров // Вестник филиала МГУ им М. В. Ломоносова в г. Душанбе. – 2022. – № 4(1). – С. 42-54.

[2-А]. Ашуров, А.И. Интенсификация процесса получения полисахаридов из корнеклубней топинамбура (*Helianthus tuberosus*) / А.И. Ашуров, А.С. Джонмуродов, З.К. Мухидинов, С.Р. Усманова, К. Партоев // Вестник Таджикского национального университета, серия естественных наук. – 2019. – № 3. – С. 208-213.

[3-А]. Ашуров, А.И. Характеристика полисахаридов из корней Эремуруса Гиссарского (*Eremurus hissaricus*) методом ИК-Фурье спектроскопии / А.И. Ашуров, А.С. Джонмуродов, С.Р. Усманова, Ш.Е. Холов, З.К. Мухидинов // Изв. Вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2021. – №11(2). – Р. 281-289. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-2-281-289>.

[4-А]. Ашуров, А.И. Самоагрегирующие свойства инулина, полученные различными методами / А.С. Насриддинов, А.И. Ашуров, Ш.Ё. Холов, И.Б. Исмоилов, С.Р. Усманова, З.К. Мухидинов // Изв. Вузов Прикладная химия и биотехнология. – 2022. – Т. 12. – № 1. – С. 38–49. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-1-38-49>.

[5-А]. Ашуров, А.И. Макромолекулярный состав инулина различного происхождения в концентрированном растворе / А.И. Ашуров, З.У. Шерова, А.С. Насриддинов, С.Р. Усманова, Х.И. Икроми, З.К. Мухидинов // Изв. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2022. – Т. 12. – № 2. – С. 279–290. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-2-279-290>.

[6-А]. Ашуров, А.И. Полисахариды из корнеклубней топинамбура (*Helianthus tuberosus*)/ А.И. Ашуров, А.С. Джонмуродов, Мухидинов З.К.,

С.Р. Усманова, К. Партоев // Актуальная биотехнология. – 2019. – №3 (30). – С. 685-687.

[7-А]. Ашуров, А.И. Биологически активные компоненты корнеклубней эремуруса гиссарского (*E. hissaricus*) / **А.И. Ашуров**, С.Р. Усманова, Мухидинов З.К., Л.Ш. Лиу. // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. – 2018. – №1 (361). – С. 35-38.

II. Статьи и тезисы в сборниках конференций

[8-А]. Ашуров, А.И. Полисахариды из Эремуруса Гиссарского (*Eremurus Hissaricus*). **А.И. Ашуров**, С.Р. Усманова, Султонмамад Г., Сафаров Е, Мухидинов З.К. // Актуальная биотехнология. – 2017. – №2 (21). – С.235-237.

[9-А]. Ашуров, А.И. Влияние процесса экстракции и концентрирования на выход и структуру инулина из топинамбура (*helianthus tuberosus*) / **Ашуров А.И.**, Джонмуродов А.С, Усманова С.Р., Насриддинов А.С., Мухидинов З.К. // Вестник Филиала Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова в городе Душанбе. – 2022. – Т. 1. – № 1 (21). – С. 38-45

[10-А]. Ашуров, А.И. Исследование молекулярно-массового распределения инулина различного происхождения методом турбидиметрического титрования./ **Ашуров А.И.**, Шерова З.У., Насриддинов А.С., Усманова С.Р. Мухидинов З.К. // Материалы межд. конф. на тему “ Роль физики в развитии науки, просвещения и инновации”, посвя. 80-летию памяти чл.коор. НАНТ, доктора физ.мат.наук, профессора Бобоева Т.Б., Душанбе. – 2022. – С. 196-199.

[11-А]. Ашуров, А.И. Строение водорастворимого полисахарида Эремуруса гиссарского (*Eremurus Hissaricus*) / И.Б.Исмоилов, **А.И. Ашуров**, Дж.Т. Бобокалонов, З.К.Мухидинов, А.Нотчкисс. // XVII Нумановские чтения “Результаты инновационных исследований в области химических и технических наук.”, Душанбе. – 2022. – С. 169-172.

[12-А]. Ашуров, А.И. Получение полисахарида инулина из корнеклубней топинамбура (*helianthus tuberosus*) инновационным способом (флэш-методом) и исследование его физико-химических характеристик. / **И.А Ашуров.**, А.С.Джонмуродов, С.Р.Усманова, К. Партоев З.К. Мухидинов. // Материалы респ. научно-прак. Конф. – XVI-Нумановских чтений «Достижение химической науки за 30 лет государственной независимости Республики Таджикистан», Душанбе, 27-Октября – 2021. – С.114-117.

[13-A]. Ашуров, А.И. Анализ ИК-Фурье спектров олигосахаридов из растения *E. hissaricus*, выращенных в разных условиях Таджикистана. / **И.А.Ашуров**, С.Гулмамад, А.С Джонмуродов., С.Р Усманова., З.К.Мухидинов. // Тезисы докладов участников Международной научной конференции, (Минск, 21 мая 2021 г.) – С. 29-30.

[14-A]. Ашуров, А.И. Характеристика олигосахаридов из растений *E. hissaricus* ИК- спектроскопией / **А.И. Ашуров**, Ш.Р. Алиева, З.К. Мухидинов. // Материалы научно-практической конф. «XI Ломоносовские чтения» посвящённой 30-летию Государственной независимости Респ. Таджикистан. Душанбе 29-30 апреля – 2021. – С.38-42.

[15-A]. Ашуров, А.И. Влияние способов получения и очистки фруктовых гидролизатов на прочность пектиновых гелей / М.Х. Рахмонов, Ш.Ё. Холов, А.С. Джонмуродов, **А.И. Ашуров**, Х.И. Икроми, З.К. Мухидинов. Технологии и продукты здорового питания: сборник статей XII Национальной научно-практической конференции с международным участием / Под общей ред. Неповинных Н.В., Поповой О.М., Фатьянова Е.В. – Саратов: СГАУ. – 2021. – С. 581-585.

[16-A]. Ашуров, А.И. Инновационные процессы получения биополимеров из сельскохозяйственных отходов и их применение / И.Б. Исмаилов, **А.И. Ашуров**, З.У. Шерова, Т.С. Маликов, С.Р. Усманова, З.К. Мухидинов// Респ. конференция «Роль химии в развитие экономики Узбекистана», Самарканд, 24-25 мая – 2018. – Ч. 2. – С. 4-5.

[17-A]. Ашуров, А.И. Bioactive components of the *Eremurus hissaricus*. / Usmanova S.R., **Ashurov A.**, Jonmurodov A.S., Muhidinov Z.K// Polysaccharide characterization.XII International Symposium " Actual problems of chemistry, biology and technology of natural compounds" (September 7-8, 2017 Tashkent). – P. 378.