ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНУЛИНА, ВЫДЕЛЕННОГО ИЗ РАСТЕНИЯ ТОБИНАМБУР ПУТЕМ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Османова Д.А
Ташкентский химико-технологический институт, г. Ташкент
Рахманбердиев Г
Ташкентский химико-технологический институт, г. Ташкент
Ибрагимова К.С
Ташкентский химико-технологический институт, г. Ташкент
Абдуллаев О.Х.
Экономико-педагогический университет, г. Карши

Аннотация. В настоящей исследовательской работе изучены физико-химические характеристики инулина, выделенного из клубней топинамбура с использованием ультразвуковой обработки. Предварительно было проведено сравнение выхода инулина при различных условиях ультразвукового воздействия. Установлено, что ультразвук значительно повышает выход целевого продукта за счёт интенсификации процессов разрушения клеточных структур клубней топинамбура. Методами микроскопии, рентгеноструктурного анализа, гель-хроматографии и термогравиметрии определены основные физико-химические характеристики полученного инулина, включая молекулярную массу, термическую стабильность и морфологические особенности. Полученные данные свидетельствуют о более упорядоченной структуре и высокой чистоте инулина, полученного с применением ультразвука. Представленные результаты подтверждают эффективность ультразвуковой технологии для получения инулина с улучшенными качественными характеристиками.

Ключевые слова: тобинамбур, инулин, ультразвук, экстракция, физико-химические свойства, морфология, молекулярная масса, термическая стабильность.

Annotatsiya. Ushbu tadqiqot ishida ultratovush ta’sirida tobinambur ildizidan ajratib olingan inulinni fizik-kimyoviy xossalari o‘rganilgan. Dastlabki bosqichda turli sharoitlarda ultratovushni inulin unumiga ta’siri aniqlandi. Ultratovush tobinambur ildiz hujayralarni buzilishini tezlashtirishi hisobiga inulinnni unumini oshirishi isbotlandi. Ajratib olingan inulinni fizik-kimyoviy xossalari, jumladan molekulyar og‘irligi, termik barqarorligi va morfologik xususiyatlari mikroskopiya, rentgen strukturaviy tahlil, gel xromatografiyasi va termogravimetriya yordamida aniqlandi. Olingan natijalar ultratovush yordamida olingan inulinning yanada tartibli tuzilishi va yuqori tozaligini ko‘rsatdi. Taqdim

ISSN 3030-3907

etilgan natijalar sifat ko‘rsatkichlari yuqori sifatli inulin olish uchun ultratovush texnologiyasining samaradorligini tasdiqlaydi.

Kalit so‘zlar: tobinambur, inulin, ultratovush, ekstraksiya, fizik-kimyoviy xossalar, morfologiya, molekulyar og‘irlik, termik barqarorlik.

Annotation. In this research work, the physicochemical characteristics of inulin isolated from Jerusalem artichoke tubers using ultrasonic treatment were studied. A preliminary comparison of the inulin yield under various ultrasound exposure conditions was conducted. It was found that ultrasound significantly increases the yield of the target product due to the intensification of the processes of destruction of cellular structures. The main physicochemical characteristics of the obtained inulin, including molecular weight, thermal stability and morphological features, were determined using microscopy, X-ray structural analysis, gel chromatography and thermogravimetry. The data obtained indicate a more ordered structure and high purity of inulin obtained using ultrasound. The presented results confirm the effectiveness of ultrasonic technology for obtaining inulin with improved quality characteristics.

Keywords: tobinambur, inulin, ultrasound, extraction, physicochemical properties, morphology, molecular weight, thermal stability.

Введение

В настоящее время топинамбур начал широко использоваться как вспомогательное средство при сахарном диабете, так как содержащийся в нём инулин способствует снижению уровня глюкозы в крови и улучшает чувствительность тканей к инсулину [1-3]. Растение топинамбур применяется при атеросклерозе, тахикардии, гипертонии и ишемической болезни сердца благодаря способности нормализовать липидный профиль и кровяное давление. Топинамбур рекомендуют при заболеваниях кроветворной системы, таких как анемия и лейкоз, а также при туберкулёзе и хронических воспалительных заболеваниях мочевыводящих путей. Ценится топинамбур и при патологиях желудочно-кишечного тракта - гастритах, язвенной болезни, дисбактериозе, а также при интоксикациях, так как он обладает выраженными сорбционными и детоксикационными свойствами [4,5]. Особенно ярко проявляется его способность снижать уровень сахара в крови и холестерина, что делает растение топинамбур актуальным компонентом диетотерапии при метаболических нарушениях. Исследования, проведённые в различных клинических условиях, показали положительную динамику у пациентов с сахарным и несахарным диабетом, а также при заболеваниях печени [6,7]. В связи с этим топинамбур

ISSN 3030-3907

рассматривается как перспективное сырьё для крупнотоннажного производства инулина [8].

Ультразвуковое воздействие на системы с твёрдо-жидкой фазой широко применяется в химической и пищевой технологиях благодаря своей способности создавать высокую интенсивность процессов, недостижимую при традиционных методах - таких как термическое воздействие, механическое перемешивание или повышение давления. Введение ультразвука в процесс экстракции инулина открывает новые возможности для повышения технологической эффективности и обеспечения устойчивого качества продукта. Поэтому целью исследования является оптимизация технологии извлечения инулина из клубней топинамбура с последующим анализом полученных продуктов.

Методология. Измельчённое растительное сырьё (клубни топинамбура) заливали дистиллированной водой при гидромодуле 1:8 (сырьё:вода по массе). Смесь подвергали ультразвуковому воздействию в течение 10-20 минут при частоте 20 кГц. Ультразвуковую обработку проводили при комнатной, что способствовало разрушению клеточных стенок и улучшению выхода экстрактивных веществ. Затем полученную смесь подвергали горячей водной экстракции при температуре 45-85 °C в течение 15-45 минут с периодическим перемешиванием. По окончании экстракции экстракт фильтровали для удаления твёрдых фракций. К очищенному водному экстракту добавляли этиловый спирт (96%) в объёмном соотношении экстракт:спирт - от 1:3 до 1:4 при постоянном перемешивании. Смесь выдерживали при температуре 20-25°C в течение 12-24 часов для осаждения целевых соединений. Образовавшийся осадок отделяли фильтрованием или центрифугированием, промывали спиртом и сушили до постоянной массы.

Морфологическое строение инулина изучали методом рентгеноструктурного анализа на порошковом дифрактометре XRD-6100 (Shimadzu, Japan). Молекулярно-массовую характеристику инулина вычисляли с помощью эксклюзионной жидкостной хроматографии на колонках Yedrogel 100, 500 и 1000 фирмы «Waters, USA», при температуре 20°C, снабженным специальным рефрактометрическим детектором. В качестве элюента использовали 0,1 н раствор NaCl. Скорость потока составляла 0,1 мл/мин. Для стандартизации калибровки колонки использовали декстран узкого молекулярно-массового распределения.

Термический анализ инулина проводили на приборе Netzsch Simultaneous Analyzer STA 409 PG, снабженным термопарой К-типа (Low RG

ISSN 3030-3907

Silver) и алюминиевыми тиглями. Все измерения были осуществлены в инертной азотной атмосфере со скоростью потока азота 50 мл/мин. Морфологический анализ инулина проводили на микроскопе Hitachi TM-100.

Результаты и их обсуждение. В исследованиях была проведена экстракция инулина методом горячей водной вытяжки при температуре 45-85 °C, гидромодуле 1:8 и продолжительности процесса 15-45 минут, с последующим осаждением спиртом.

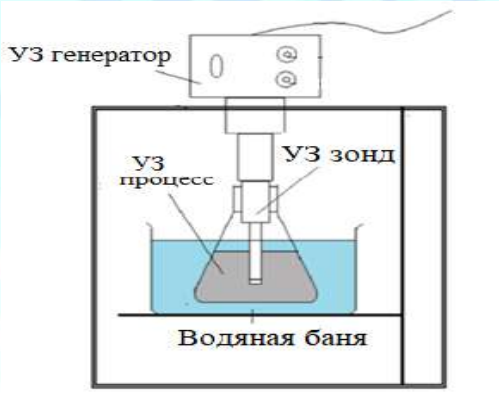


Рис.1. Общий процесс выделения инулина под воздействием ультразвука

Данные, приведенные в таблице, показывают, что весовой выход инулина зависит от температуры и продолжительности времени экстракции. Из таблицы видно, что с увеличением температуры экстракции от 45 до 85 °C происходит снижение выхода инулина. При этом полученные образцы приобретают кремово-желтый цвет, что является признаком протекания процесса расщепления макромолекул инулина. Наиболее оптимальной температурой экстракции оказывается 60-70 °C.

Таблица-1

Влияние некоторых технологических параметров на выход и характеристики инулина

Время экстракции, мин	t, °C	Выход, %	Цвет инулина
15	45-50	9,1	Беловато-кремовый
30	45-50	10,6	Беловато-кремовый
60	45-50	11,5	Беловато-кремовый
15	60-70	11,3	Беловато-кремовый
30	60-70	12,8	Беловато-кремовый
45	60-70	13,5	Беловато-кремовый
15	80-85	8,0	Кремовый

ISSN 3030-3907

30	80-85	6,7	Кремово-желтый

Образцы для анализа предварительно высушивали до постоянной массы, измельчали и исследовали на дифрактометре с использованием CuKα-излучения диапазоне углов 2θ от 5° до 80°. На рентгенограммах кристаллического инулина наблюдаются чёткие, широкий пик, характерный для кристаллической формы, в частности в области 2θ≈15°-19° (рис.2).

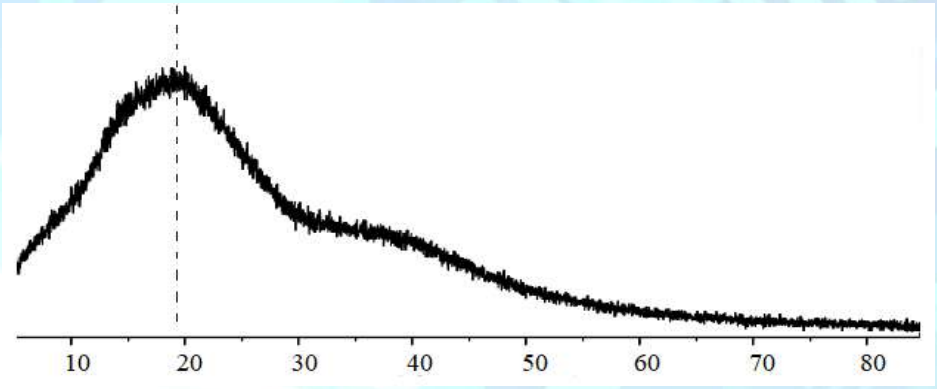


Рис.2. Рентгенограмма инулина, выделенного ультразвуковой обработкой

Микрофотографии инулина, полученные с помощью светового микроскопа, показывают форму полисахарида (рис.3). Из приведенных рисунков видно, что частицы инулина могут выглядеть как мелкие зернистые образования с полупрозрачной текстурой. При использовании поляризованного света можно наблюдать слабое двулучепреломление, характерное для кристаллических форм. Размеры частиц варьируются, но чаще всего они находятся в микронном диапазоне и распределены неравномерно. Общая картина микрофотографии инулина напоминает рыхлую, неструктурированную массу. Видны также агрегаты из нескольких частиц, слипшихся между собой. Контуры частиц часто размыты, что затрудняет точную морфологическую классификацию без дополнительных методов анализа.

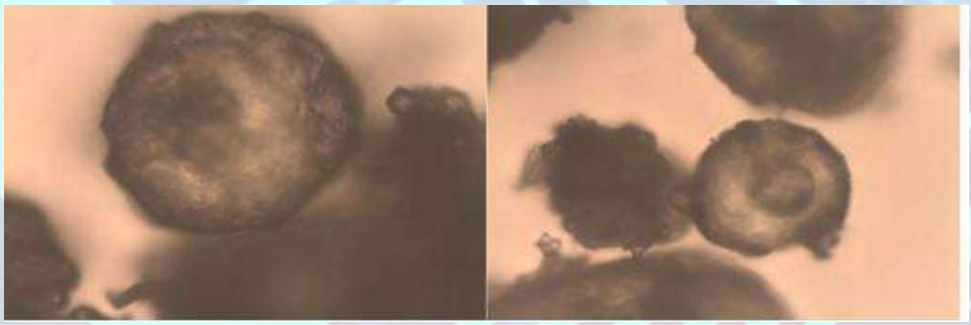


Рис.3. Микрофотографии инулина, полученные на световом микроскопе (увеличение в 400 раз)

Согласно результатам термического анализа и дифференциальной термогравиметрии, температурное разложение инулина происходит в три

ISSN 3030-3907

отчетливо выраженные стадии (рис.4). На первой стадии (48-110 °C) величина термической деструкции минимальна и объясняется испарением влаги, главным образом связанной воды, адсорбированной на поверхности полимера. На второй стадии (110-242 °C) наблюдается разрушение эфирных связей с одновременным расщеплением функциональных фрагментов, что сопровождается образованием различных летучих оксидов и частичной деградацией основной цепи. Последняя стадия (выше 245 °C) характеризуется наиболее интенсивной потерей массы, связанной с глубоким разложением полисахарида и образованием углеродистого остатка. Дополнительно следует отметить, что вторая стадия является критически важной для оценки термической стабильности функциональных групп инулина. Пиковая скорость потери массы на этом этапе указывает на температуру, при которой происходит основное разрушение модифицированных фрагментов. Анализ кривых ДТГ (дифференциальной термогравиметрии) подтверждает наличие промежуточных продуктов разложения. Полученные данные важны для определения оптимальных температурных условий при сушке, хранении и переработке инулина в составе функциональных материалов.

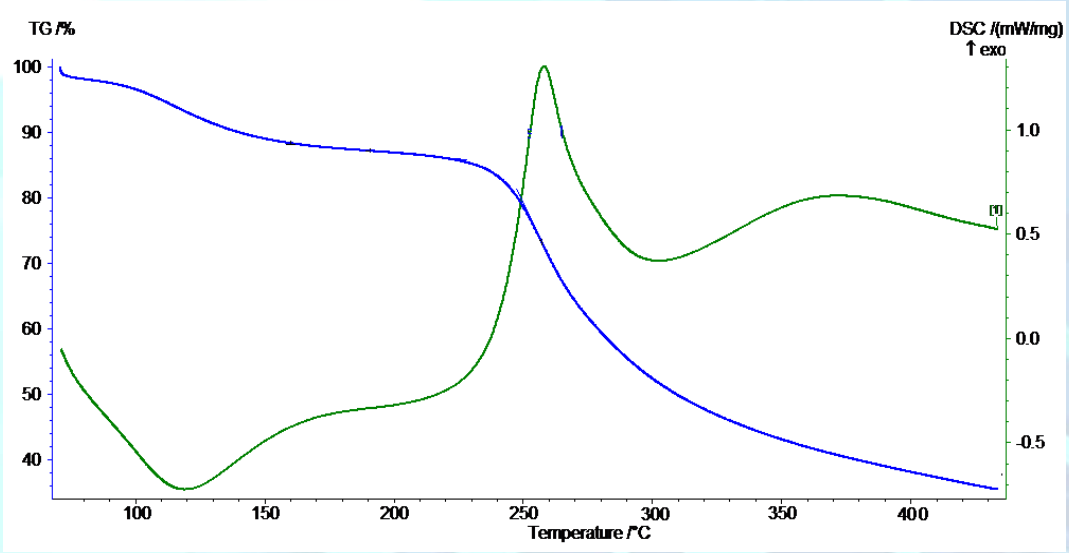


Рис.4. Термограмма инулина, выделенного ультразвуковой обработкой

Полученная гель-хроматограмма инулина представляет собой график, отражающий распределение фракций по молекулярной массе (рис. 5). На хроматограмме наблюдается один выраженный основной пик, соответствующий преобладающей фракции инулина с определённой степенью полимеризации. Узкая форма пика указывает на высокую гомогенность образца. Отсутствие дополнительных пиков свидетельствует о высокой степени очистки и однородности инулина, а также об узком молекулярно-массовом распределении. Методом гель-хроматографии

ISSN 3030-3907

определено, что средняя молекулярная масса инулина составляет 5400 Да. Это позволяет отнести полученный инулин к группе низко- или среднеполимерных фракций, что делает его перспективным для использования в функциональных пищевых продуктах или фармацевтических субстнациях.

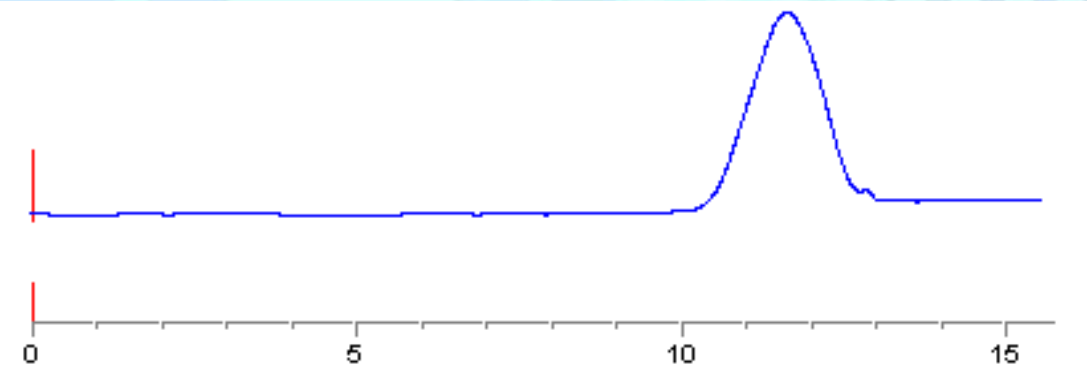


Рис.5. Гель-хроматограмма инулина выделенного, ультразвуковой обработкой

Заключение. Таким образом, в проведенном исследовании был выделен инулин под действием ультразвуковой обработки клубней растения топинамбур. Методами микроскопии, рентгеноструктурного анализа, гель-хроматографии и термогравиметрии определены основные физико-химические характеристики полученного инулина, включая молекулярную массу, термическую стабильность и морфологические особенности. Полученные данные свидетельствуют о более упорядоченной структуре и высокой чистоте инулина, полученного с применением ультразвука.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Shoaib M, Shehzad A, Omar M, Rakha A, Raza H, Sharif HR, Shakeel A, Ansari A, Niazi S. // Inulin: Properties, health benefits and food applications. Carbohydr Polym. -2016. -V.147. -P.444-454.
2. Karimi R, Azizi MH, Ghasemlou M, Vaziri M. Application of inulin in cheese as prebiotic, fat replacer and texturizer // Carbohydr Polym. -2015. -V.119. -P.85-100.
3. Ahmed W. Rashid S. Functional and therapeutic potential of inulin: A comprehensive // Crit Rev Food Sci Nutr. -2019. -V.59(1). -P.1-13.
4. Li J., Jia S., Yuan C., Yu B. Jerusalem artichoke inulin supplementation ameliorates hepatic lipid metabolism in type 2 diabetes mellitus mice by modulating the gut microbiota and fecal metabolome // Food Funct. -2022. -V.13. -P.11503-11517.

ISSN 3030-3907

5. Li K., Zhang L., Xue J., Yang X., Dong X., Sha L., Dietary inulin alleviates diverse stages of type 2 diabetes mellitus via anti-inflammation and modulating gut microbiota in db/db mice // Food Funct. -2019. -V.10. -P.1915-1927
6. Коденцова В.М., Леоненко С.Н., Бекетова Н.А., Кошелева О.В. Инулин как компонент обогащенных пищевых продуктов: влияние на микронутриентный статус организма // Вопросы биологической, медицинской и фармацевтической химии. -2022. -№3. -С.34-42.
7. Митрофанова И.Ю., Яницкая А.В., Шуленина Ю.С. Перспективы применения инулина в медицинской и фармацевтической практике // Вестник новых медицинских технологий. -2012. -Т.XIX. -№2. -С 45-48.
8. Королева Ю.С. Удобрение топинамбура при многолетнем использовании плантаций: дис. ... канд. с./х. наук. Тверь, 2009. 294 с.

ISSN 3030-3907