

УДК 615.07, 615.322

ВЫДЕЛЕНИЕ, ОЧИСТКА И ФИТОХИМИЧЕСКИЙ СКРИНИНГ ПОЛИСАХАРИДНЫХ ФРАКЦИЙ БОТАНИЧЕСКИХ ФОРМ *APIUM GRAVEOLENS L.**

© *Е.С. Сурбеева***, *С.И. Комова*, *В.С. Шуракова*, *К.С. Неведюк*, *У.А. Ефремова*, *Н.А. Криштанова*,
Э.П. Санаева, *И.И. Тернинко*

*Санкт-Петербургский государственный химико-фармацевтический
университет, ул. Проф. Попова, 14А, Санкт-Петербург, 197376, Россия,
bazanova.elizaveta@pharminnotech.com*

Изучение природных полисахаридов – актуальное направление исследований ввиду наличия у них ряда фармакологических эффектов, включая противовирусную активность и способность регулировать нарушения метаболизма. Кроме того, данные полимерные структуры реализуют ряд свойств (сорбционное, формообразующее, транспортное (системы доставки), что повышает интерес ученых к их выделению и анализу. Цель данного исследования – сравнительное изучение полисахаридных фракций в разных ботанических формах сельдерея пахучего. К задачам исследования относятся выделение полисахаридных фракций, их очистка методом Севага, оценка мономерного состава фракций после кислотного гидролиза методом ВЭТСХ и определение структурных характеристик молекул методом ИК-спектроскопии. В результате исследования были выделены спирторастворимые полисахариды (СРПС), водорастворимые полисахариды (ВРПС) и пектиновые вещества (ПВ) из листовой, черешковой и корневой ботанических форм сельдерея. После очистки полученные субстанции представляли из себя аморфные порошки светло-коричневого или светло-бежевого цвета без запаха. Наибольший выход целевых соединений продемонстрировала корневая ботаническая форма сельдерея (в сумме $13.54 \pm 1.07\%$ после очистки), а наименьший – черешковая (в сумме $5.51 \pm 0.04\%$ после очистки). В мономерном составе пектинов и ВРПС наблюдалось преобладание галактозы и арабинозы, тогда как в спиртовых – фруктозы и глюкозы. Интерпретация ИК-спектров показала наличие полос поглощения, характерных для свободных и связанных карбоксильных групп, валентных колебаний С-О-С, α -конфигурации гликозидной связи, С1- α -конформации галактуроновой кислоты в разных полисахаридных фракциях, что позволяет сделать некоторые выводы относительно структуры веществ. Впервые было проведено сравнительное исследование полисахаридных фракций различных ботанических форм сельдерея пахучего. Исходя из полученных результатов, можно выделить ВРПС и ПВ корнеплодов сельдерея пахучего как наиболее перспективные фитосубстанции для дальнейшей разработки на их основе продуктов функционального, специализированного питания и потенциальных лекарственных средств. Используемые в ходе исследования методики анализа могут быть предложены в составе нормативной документации по контролю данных продуктов.

Ключевые слова: полисахаридные фракции, водорастворимые полисахариды, пектиновые вещества, специализированное питание, сельдерей пахучий, *Apium graveolens L.*, ботанические формы, ВЭТСХ, ИК-спектроскопия.

Для цитирования: Сурбеева Е.С., Комова С.И., Шуракова В.С., Неведюк К.С., Ефремова У.А., Криштанова Н.А., Санаева Э.П., Тернинко И.И. Выделение, очистка и фитохимический скрининг полисахаридных фракций ботанических форм *Apium graveolens L.* // Химия растительного сырья. 2024. №2. С. 126–137. DOI: 10.14258/jcprm.20240214032.

Введение

Полисахариды природного происхождения – одни из самых распространенных биополимеров – являются важными макромолекулами всех биологических видов и широко используются в различных отраслях промышленности [1]. В настоящее время хитозан, альгинат, декстран, пектины, наноносители на основе крахмала и другие полисахариды применяются в качестве инновационных систем доставки лекарственных средств [2]. Гиалуроновая кислота, каррагинан, карбоксиметилированный глюкан и др. находят применение в косметологии, а целлюлоза, пектины, альгинат и др. в тканевой инженерии [3]. Кроме того, ряд природных полисахаридов рассматривается как активные вещества и применяются в составе лекарственных средств

* Данная статья имеет электронный дополнительный материал (приложение), который доступен читателям на сайте журнала. DOI: 10.14258/jcprm.20240214032s

** Автор, с которым следует вести переписку.

(ЛС) (панавир, плантоцид) и биологически активных добавок (БАДов) (хитозан, ягоды годжи) [4, 5], так как имеют собственный спектр биологических свойств. В последнее время ввиду быстрого развития пандемий (SARS-CoV, MERS-CoV, SARS-CoV-2 и др.) в фокусе исследований ученых находится противовирусное действие природных полисахаридов, что подтверждается данными об активности молекул, выделенных из водорослей (карагиннана, красные водоросли и др.), грибов (шиитаки, вешенки и др.), а также растений (копытень, картофель, вайда красильная и тд.), в отношении ряда вирусных инфекций [6–8]. Кроме того, перспективно использование полисахаридов для терапии и профилактики заболеваний, связанных с нарушением метаболизма, о чем свидетельствуют данные литературы касательно снижения массы тела, инсулинорезистентности, гипергликемии, воспаления, регуляции липидного профиля и микрофлоры кишечника после приема растительных полисахаридов, выделенных из анектохилуса [9], видов купен [10, 11], дерезы обыкновенной [12] и других объектов [13].

Согласно данным электронной базы Science direct [14], за последние 20 лет наблюдается ежегодный рост исследовательских статей по запросу «polysaccharides» (с 2504 работ в 2002 году до 16462 в 2022), что говорит о стабильном повышении интереса научного сообщества к изучению данной темы. Тем не менее количество патентов по запросу «полисахариды» в Российской Федерации за последние годы, наоборот, значительно снизилось (с 998 патентов в 2012 до 48 в 2022) [15], что говорит о перспективности разработки продуктов, содержащих полисахариды, и внедрения их на рынок. При этом необходимо отметить, что химический синтез природных полисахаридов представляет собой нетривиальную задачу ввиду сложности структуры. В связи с этим можно сделать вывод, что изучение (поиск сырьевых источников, способов выделения, очистки и установления структуры) растительных полисахаридов и разработка на их основе новых продуктов для фармацевтического (в т.ч. ветеринарного), пищевого и агротехнического рынка считается фронтальным направлением.

Сельскохозяйственные культуры относятся к перспективным источникам полисахаридов в связи с прогнозируемым целевым накоплением данной группы биологически активных веществ (БАВ), а также легковозобновляемой сырьевой базой. Сельдерей пахучий (*Apium graveolens* L.) – пищевая культура семейства *Ariaceae*, которая представлена тремя ботаническими формами (корневая, черешковая и листовая), применяется в составе диетических продуктов питания. Литературный поиск показал, что опубликованные исследования в основном направлены на изучение пектиновых веществ в корнеплодах [16] и черешках сельдерея, в том числе доказано наличие противовоспалительной активности последних [17]. Кроме того, известны данные о содержании ВРПС ($8.33 \pm 0.01\%$) и ПВ ($3.45 \pm 0.01\%$) в корнеплодах сельдерея, выращенных на Северном Кавказе [18]. Ввиду вышесказанного можно говорить о перспективности изучения сельдерея пахучего в качестве сырьевого источника полисахаридов для разработки специализированных пищевых и фармацевтических продуктов.

Цель данного исследования – провести сравнительный качественный и количественный анализ фракций полисахаридов, выделенных из ботанических форм сельдерея пахучего, и осуществить выбор наиболее перспективных фракций для дальнейшего изучения и использования.

Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования использовали корнеплоды (корневая форма) и надземную часть (листовая и черешковая формы) сельдерея пахучего. Черешковую и корневую ботанические формы сельдерея закупали в продуктовых магазинах г. Санкт-Петербурга (по данным на упаковке, страна происхождения – Россия, заготовка – 2022 г.), листовую – культивировали на базе питомника лекарственных растений СПХФУ (период заготовки – сентябрь 2022 г.). Сырое сырье предварительно измельчали на кусочки, размером около 2×3 см и высушивали при температуре 40 °С в сушильном шкафу до остаточной влажности сырья $3.98 \pm 0.20\%$ в листьях, $6.18 \pm 0.42\%$ черешках и $5.36 \pm 0.20\%$ в корнеплодах сельдерея.

Выделение полисахаридных фракций. Точную навеску высушенного и измельченного сырья корнеплодов, черешков и листьев сельдерея пахучего обезжиривали хлороформом (1 : 4) в аппарате Сокслета в течение часа, после чего шрот (высушенный на воздухе до отсутствия запаха хлороформа) двукратно экстрагировали спиртом (82%) по 2 ч на водяной бане с обратным холодильником, спиртовую фракцию выдерживали в холодильнике (при температуре 8 ± 0.5 °С) в течение 7 дней, выпавший осадок подвергали вакуумной фильтрации и высушивали в сушильном шкафу при температуре 100 °С с целью получения СРПС. Оставшийся шрот последовательно экстрагировали водой (двукратно в течение 1 ч) и буферной смесью 0.5% аммония оксалата и щавелевой кислоты (1 : 1) двукратно в течение 2 ч при нагревании 85–95 °С и постоянном перемешивании с помощью магнитной мешалки (Heidolph, Германия) (300 об./мин), каждый

раз высушивая шрот после окончания экстракции определенным экстрагентом. Полученные извлечения осаждали 3–5-кратным количеством этанола, фильтровали и высушивали осадки. Таким образом получали ВРПС и пектиновые вещества ПВ. Также нами была предпринята попытка выделения из отработанного шрота фракции гемицеллюлоз (ГЦ) путем мацерации 1% раствором гидроксида натрия.

Очистка полисахаридных фракций. Для очистки полученных полисахаридных фракций от примеси белка использовали метод Севага, рекомендованный литературой [19]. Около 600 мг полисахаридных фракций растворяли в 60 мл воды и смешивали с 60 мл раствора Севага (н-бутанол (ХЧ) : хлороформ (ХЧ) – 1 : 4), тщательно встряхивали и центрифугировали на центрифуге Sigma 2-16P (Германия, Sartorius AG) со скоростью 4500 об./мин в течение 10 мин. Очистку повторяли дважды. Водный раствор полисахаридов декантировали и подвергали лиофильной сушке на электронном комплексе для высушивания образцов методом вымораживания в условиях пониженного давления (Labconco, США). Процесс лиофилизации включал замораживание водных растворов полисахаридных фракций при $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение суток; первичную и вторичную сушку (сублимацию в вакууме и вакуумную десорбцию с целью удаления свободной и связанной воды соответственно).

Схема выделения и очистки полисахаридных фракций представлена на рисунке 1.

Количественное содержание полисахаридных фракций в ботанических формах сельдерея определяли методом гравиметрии до очистки по следующей формуле:

$$X = \frac{m_{\text{фнс}} \times 100}{m_n \times (100 - W)} \times 100\%,$$

где $m_{\text{фнс}}$ – масса фракции полисахаридов, г; m_n – масса навески исходного сырья, г; W – относительная влажность сырья, %.

Для оценки фактического содержания полисахаридов в ботанических формах сельдерея (с учетом очистки) полученные данные умножали на соответствующие значения коэффициентов потери в массе (КПМ) после проведения нескольких циклов очистки ($n=5$), рассчитанных по следующей формуле:

$$КПМ = \frac{m_{\text{ср. фракции после очистки}}}{m_{\text{ср. фракции до очистки}}}$$

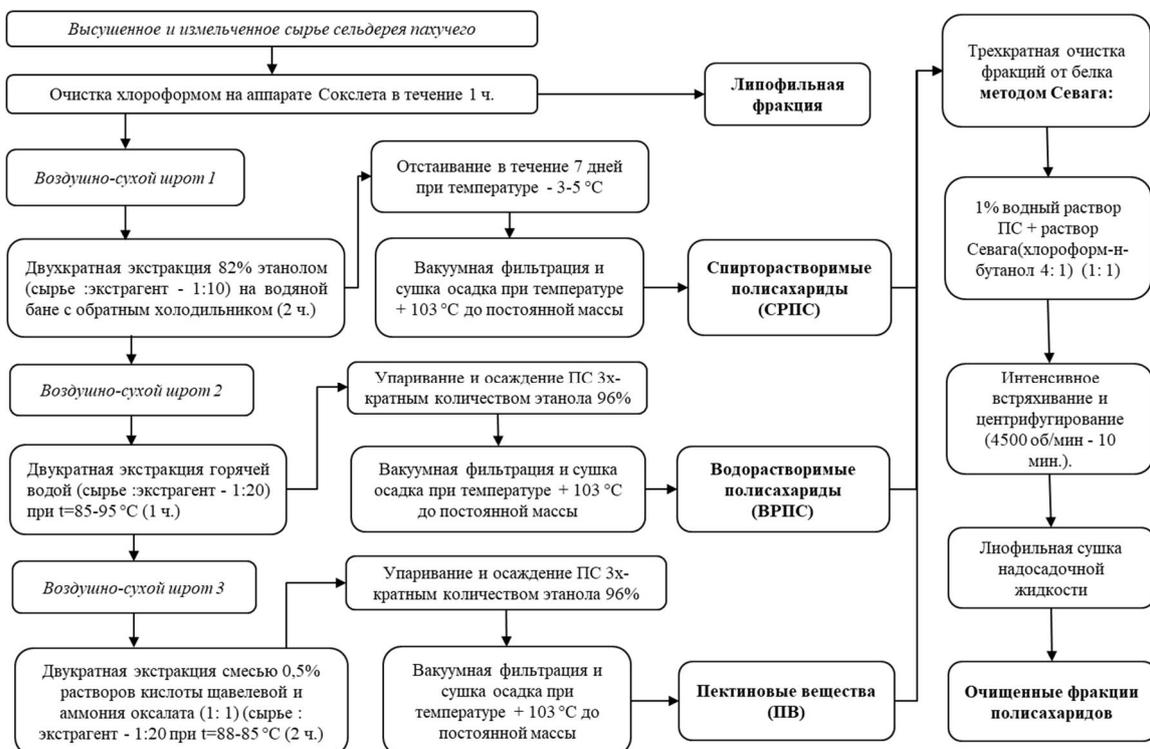


Рис. 1. Схема выделения полисахаридных фракций из разных ботанических форм сельдерея пахучего

Оценка наличия примесей. С целью обнаружения примесей фенольных соединений, каротиноидов и хлорофилла регистрировали УФ-спектры водных растворов полисахаридных фракций ($C=0.1$ мг/мл) на спектрофотометре UV-1800 (Shimadzu, Япония) в диапазоне длин волн от 200 до 700 нм. В качестве раствора сравнения использовали воду очищенную.

Количество азотсодержащих соединений в полученных фракциях определяли методом Кьельдаля в соответствии с ОФС.1.2.3.0011.15 [20] на автоматическом анализаторе азота с потенциометрическим титратором (ВУСНІ, Швейцария). Точную массу навески полисахаридных фракций (около 0.4 г для неочищенных фракций и около 0.2 г для фракций после очистки) переносили в колбы для сжигания, в каждую колбу помещали таблетку для сжигания (K_2SO_4 4.98 г + $CuSO_4$ 0.02 г) и 7 мл концентрированной серной кислоты. Колбы нагревали до тех пор, пока растворы не становились прозрачными, и продолжали нагрев в течение еще 30 мин. Далее проводили отгонку с водяным паром, предварительно добавив 20 мл воды и 30 мл 42% раствора натрия гидроксида. Отгон собирали в 30 мл раствора борной кислоты с концентрацией 40 г/л. Полученный дистиллят титровали 0.025 М раствором серной кислоты, конечную точку титрования определяли потенциометрически.

Изучение мономерного состава фракций. Идентификацию моносахаров проводили методом высокоэффективной тонкослойной хроматографии (ВЭТСХ) после гидролиза полисахаридных фракций на приборе SAMAG HPTLC visionCATS по методике, представленной в литературе [21] с некоторыми модификациями:

Испытуемый образец. Точную навеску около 50 мг помещали в пробирку с притертой пробкой, растворяли в 2 мл воды и добавляли 2 мл раствора серной кислоты 2%. Пробирки закрывали крышками и нагревали на водяной бане 2–14 ч, проводя отбор проб гидролизатов для контроля полноты гидролиза каждые 2 ч.

Стандартные образцы (СО). В качестве СО использовали субстанции глюкозы, галактозы, маннозы, арабинозы, рамнозы, ксилозы, фруктозы фармацевтического качества. Точные навески около 100 мг помещали в мерные колбы вместимостью 100 мл, растворяли в 50 мл воды и доводили до метки тем же растворителем. Таким образом, получали индивидуальные растворы СО с концентрацией 1 мг/мл. Для получения смеси СО точные навески моносахаров около 100 мг помещали в мерные колбы на 10 мл, растворяли в 5 мл воды и доводили до метки тем же растворителем, получали растворы СО с концентрацией 10 мг/мл, по 1.0 мл каждого раствора помещали в мерную колбу вместимостью 10 мл, доводили водой до метки. Получали смесь СО с концентрацией каждого стандарта 1 мг/мл.

Пробоподготовка пластинок. Для анализа использовались пластинки Merck, HPTLC silicagel 60 F154, 20×10, которые предварительно активировали смесью метанол : вода (6 : 1), подсушивали на воздухе, затем повторно обрабатывали той же смесью и выдерживали в сушильном шкафу при температуре 105 °С в течение 15 мин. Далее пластинки обрабатывали фосфатным буферным раствором (pH=6.8), подсушивали на воздухе и выдерживали в сушильном шкафу при температуре 120 °С в течение 10 мин.

На подготовленные пластинки наносили по 4 мкл растворов и смеси СО и по 20 мкл образцов гидролизатов. Хроматограмму высушивали на воздухе и элюировали смесью ацетонитрил : пентанол : вода (4 : 4 : 1), высушивали и затем снова элюировали смесью ацетонитрил : бутанол : вода (4 : 3.5 : 1.5). Для дериватизации моносахаров хроматограмму обрабатывали дифениламиновым реактивом и выдерживали в сушильном шкафу при температуре 110 °С 3–5 мин. Пластины визуализировали на устройстве Samag TLC visualizer 2: время экспозиции 20 мс, усиление 1, режим пропускания белого света. Идентифицировали моносахара путем сравнения значений R_f , формы и цвета пятен треков гидролизатов и треков СО.

Изучение структурных характеристик. Исследование структурных особенностей полисахаридных фракций проводили методом ИК-спектроскопии, который часто используется в литературе для качественного анализа данной группы БАВ. Около 10 мг лиофилизатов помещали на НПВО-приставку Фурье-ИК спектрометра Spectrum-3 (Perkin Elmer, США). Интерпретацию ИК-спектров осуществляли с использованием научной и справочной литературы [22–25].

Исследование проводили с использованием парка оборудования ЦКП «Аналитический центр ФГБОУ ВО СПХФУ Минздрава России» в рамках соглашения № 075-15-2021-685 от 26 июля 2021 года при финансовой поддержке Министерства образования и науки России.

Обсуждение результатов

Выделение и очистка. Количественное содержание фракций полисахаридов различных ботанических форм сельдерея до и после очистки представлено в таблице 1.

После очистки полученных субстанций методом Севага наблюдалось значительное изменение органолептических характеристик, а также уменьшение массы полисахаридных фракций (табл. 1–3).

Как видно из данных таблицы 1, наибольшее содержание полисахаридов наблюдается в корнеплодах сельдерея ($13.54 \pm 1.07\%$ после очистки), что может быть обусловлено накопительной функцией данного органа. При этом мажоритарной фракцией для корнеплодов и листьев является ВРПС, тогда как в черешках наблюдается приблизительно равное накопление ВРПС и ПВ. Фракция СРПС превалирует в сельдерее листовом, однако ввиду того, что спирт является универсальным растворителем, малоиспользуемым в выделении полисахаридов, можно предположить значительное количество примесей низкомолекулярных веществ, что подтверждается результатами мономерного анализа фракции.

Необходимо отметить, что фракция ГЦ была очень незначительна (менее 0.5% вне зависимости от ботанической формы), поэтому нами было принято решение о нецелесообразности дальнейшего использования данной фракции в работе.

Полисахаридные фракции ботанических форм сельдерея до очистки представлены кристаллическими и мелкокристаллическими порошками со слабым сладковатым запахом в основном светло- или темно-коричневого цвета. Очистка полисахаридов привела к изменению окраски фракций до светло-коричневых и светло-бежевых оттенков, а также к приобретению ими аморфной структуры, характерной для полимеров, которая также может быть объяснена использованием лиофильной сушки.

Примеси. Оценка примесей низкомолекулярных соединений методом УФ-спектрофотометрии показала отсутствие максимумов поглощения в диапазоне от 300 до 700 нм во всех фракциях, кроме СРПС листьев, что говорит об отсутствии примесей фенольных веществ, каротиноидов и хлорофиллов. В области 200–300 нм в УФ-спектрах фракций всех ботанических форм наблюдаются «плечо», которое может быть обусловлено наличием карбоксильной группы в соединениях [26]. Для фракции СРПС листьев наблюдаются максимумы поглощения при 266 и 341 нм, что говорит о наличии примеси фенольных веществ, вероятно, апигенина и его гликозидов (исходя из спектральных данных) [27]. Рисунки УФ-спектров фракций представлены в электронном приложении к статье.

Таблица 1. Количественное содержание полисахаридных фракций в разных ботанических формах сельдерея до и после очистки

	Корнеплоды, $\bar{X} \pm \Delta X\%$ (n=5)		КМП	Черешки, $\bar{X} \pm \Delta X\%$ (n=5)		КМП	Листья, $\bar{X} \pm \Delta X\%$ (n=5)		КМП
	До очистки	После очистки		До очистки	После очистки		До очистки	После очистки	
СРПС	2.56 ± 0.39	1.98 ± 0.20	2.0	3.04 ± 0.22	1.52 ± 0.11	2.0	4.74 ± 0.49	1.89 ± 0.18	2.5
ВРПС	16.36 ± 1.35	8.18 ± 0.68	2.0	4.20 ± 0.28	2.00 ± 0.14	2.1	15.76 ± 0.25	7.88 ± 0.57	2.0
ПВ	8.23 ± 0.69	3.38 ± 0.80	2.3	4.97 ± 0.24	1.99 ± 0.09	2.5	2.95 ± 0.29	1.48 ± 0.15	2.0
Сумма	27.15 ± 1.52	13.54 ± 1.07		12.21 ± 0.43	5.51 ± 0.04		23.45 ± 0.62	11.25 ± 0.62	

Таблица 2. Органолептическая характеристика полисахаридных фракций корнеплодов до и после очистки

Фракция ПС	До очистки		После очистки	
СРПС		Мелкокристаллический порошок светло-коричневого цвета с сильным сладким запахом		Аморфный порошок светло-бежевого цвета без запаха
ВРПС		Кристаллический порошок темно-коричневого цвета со светлыми вкраплениями со сладким запахом		Аморфный порошок с вкраплениями прозрачных кристаллов светло-коричневого цвета без запаха
ПВ		Кристаллический порошок светло-коричневого цвета со слабым сладким запахом		Аморфный волокнистый порошок светло-бежевого цвета без запаха

Таблица 3. Органолептическая характеристика полисахаридных фракций черешкового и листового сельдерея

Фракция ПС	Описание органолептических свойств фракций разных ботанических форм	
	До очистки	После очистки
Черешки		
СРПС	Кристаллический порошок коричневого цвета с сильным сладким запахом	Аморфный порошок светло-коричневого цвета без запаха
ВРПС	Кристаллический порошок серовато-коричневого цвета со сладким запахом	Аморфный мелкий порошок светло-бежевого цвета без запаха
ПВ	Мелкокристаллический порошок светло-коричневого цвета со слабым сладким запахом	Аморфный волокнистый порошок светло-бежевого цвета без запаха
Листья		
СРПС	Кристаллический порошок бледно-зеленого цвета с серыми вкраплениями со сладким запахом	Аморфный мелкий почти белый порошок без запаха
ВРПС	Кристаллический порошок серого цвета со слабым сладким запахом	Аморфный серовато-бежевый порошок без запаха
ПВ	Мелкокристаллический порошок бежевого цвета со слабым сладким запахом	Аморфный желтовато-белый порошок без запаха

Результаты количественного определения примеси азотсодержащих соединений (свободные аминокислоты, белки, пептиды) представлены в таблице 4.

Как видно из данных таблицы 4, метод Севага не позволяет добиться полной очистки фракций от примесей азотсодержащих соединений. Тем не менее использование данного метода целесообразно ввиду очистки от других балластных соединений, что подтверждается значительным изменением массы и улучшением органолептических свойств фракций.

Анализ моносахаров. Хроматограммы СО моносахаров и их смеси представлена на рисунке 2а. Оптимальное время гидролиза фракций было определено экспериментально исходя из интенсивности пятен моносахаров и отсутствия ее увеличения при дальнейшем проведении гидролиза (составило 8 ч для всех образцов). Хроматограмма сравнительного анализа монокомпонентного состава СРПС, ВРПС и ПВ корнеплодов, черешков и листьев сельдерея представлена на рисунке 2б.

В таблице 5 представлены результаты оценки мономерного состава полисахаридных фракций различных ботанических форм сельдерея пахучего.

Таблица 4. Содержание азотсодержащих соединений в полисахаридных фракциях

Фракция ПС	Содержание азота, $\bar{X} \pm \Delta X\%$ (n=3)					
	корнеплоды		черешки		листья	
	До очистки	После очистки	До очистки	После очистки	До очистки	После очистки
СРПС	0.42±0.08	0.35±0.06	0.32±0.05	0.26±0.08	0.35±0.04	0.29±0.05
ВРПС	1.29±0.25	0.98±0.05	1.14±0.30	0.87±0.20	0.97±0.15	0.65±0.08
ПВ	3.02±0.17	2.07±0.14	2.45±0.13	1.95±0.17	2.44±0.17	2.02±0.21

Таблица 5. Результаты ВЭТСХ анализа гидролизатов полисахаридных фракций

Моносахарид	Окраска зоны адсорбции	Значение Rf		СРПС			ПВ			ВРПС		
		р-ры СО	Смесь СО	К	Ч	Л	К	Ч	Л	К	Ч	Л
Галактоза	Серо-зеленый	0.18	0.17	-	-	-	++	++	+++	++	+++	+
Глюкоза	Серо-зеленый	0.22	0.21	++	+++	+	+	+	+	+++	++	+
Манноза	Сине-серый	0.27	0.26	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Фруктоза	Оранжевый	0.28	0.28	+	+++	+	-	-	-	++	+	-
Арабиноза	Фиолетово-серый	0.31	0.32	++	+	+	+++	++	+++	+++	++	++
Ксилоза	Фиолетово-серый	0.42	0.43	-	-	-	+	+	++	++	++	+
Рамноза	Бледно-зеленый	0.68	0.68	-	-	-	-	-	+	-	+	-

Примечание: К – корневая, Ч – черешковая, Л – листовая форма сельдерея; «-» не идентифицированные сахара, «+» и их количество – обнаруженные моносахара в соответствии с интенсивностью пятен.

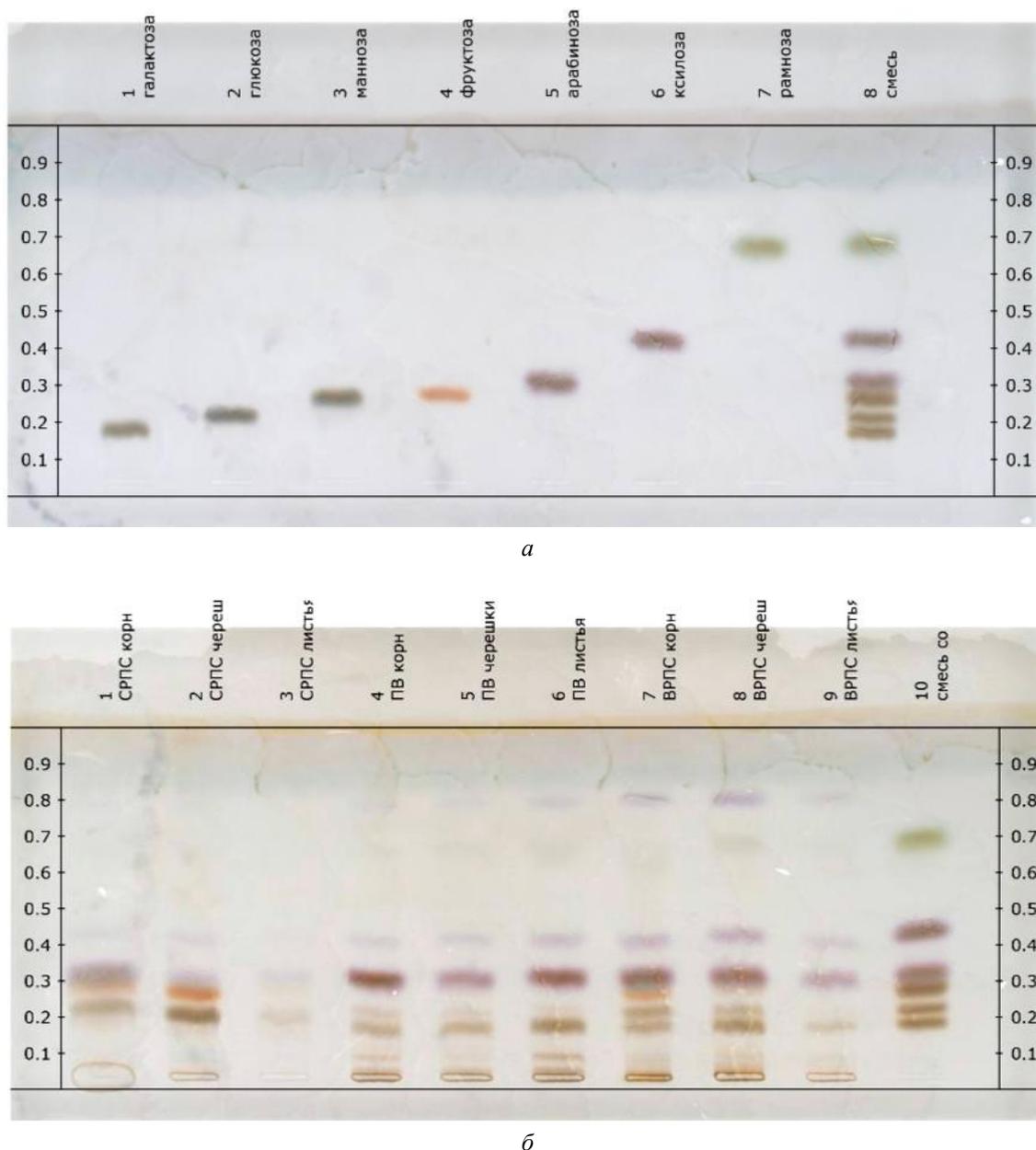


Рис. 2. Хроматограммы СО моносахаров и их смеси (а) и мономерного состава полисахаридных фракций разных ботанических форм сельдерея после гидролиза (б)

Как видно из представленных данных, состав моносахаров вариабелен и различается у разных фракций полисахаридов и ботанических форм сельдерея. СРПС черешков представлены преимущественно глюкозой и фруктозой, пятна которых обладают интенсивной окраской и большим размером, тогда как СРПС корнеплодов помимо глюкозы и фруктозы также содержат арабинозу. Что касается СРПС листьев, в них были обнаружены лишь следовые количества моносахаров, что может говорить как о большом количестве балластных соединений в данной фракции, так и о незначительном накоплении данной группы БАВ в этом виде сырья. Во фракциях ПВ и ВРПС всех ботанических форм наблюдается наличие ксилозы, арабинозы и галактозы, причем, исходя из интенсивности пятен, можно сказать, что арабиноза и галактоза являются преобладающими сахарами почти во всех образцах. Наиболее разнообразным мономерным составом характеризуется фракция ВРПС корнеплодов сельдерея, где помимо вышеупомянутых компонентов присутствуют глюкоза и фруктоза. В некоторых фракциях ВРПС и ПВ наблюдались следовые количества рамнозы.

Результаты ИК-спектроскопии. ИК-спектры очищенных полисахаридных фракций ботанических форм сельдерея представлены на рисунках в электронном приложении к статье. В таблице 6 отражена интерпретация полученных спектров, которую осуществляли с использованием справочной [22–24] и научной [25] литературы.

Таблица 6. Интерпретация ИК-спектров ВРПС, ПВ и СРПС ботанических форм сельдерея пахучего

Типы колебаний	Диапазон частот, см ⁻¹	Значения волновых чисел, см ⁻¹								
		ВРПС			ПВ			СРПС		
		Корневая	Черешковая	Листовая	Корневая	Черешковая	Листовая	Корневая	Черешковая	Листовая
ν (O-H) спиртовые связанные и свободные	3550–3200	3254	3270	3245	3168	3170	3196	3265	3256	3184
ν (C-H)	2935–2896	2929	2934	–	2903	2899	2896	2921	2925	2935
ν (C=O) в COOH	1750–1700	1733	1739	–	1718	1722	1723	–	–	–
ν _{as} (COO ⁻)	1610–1550	1598	1599	1568	1591	1599	1595	1587	1575	1592
ν _s (COO ⁻)	1450–1400	1403	1409	1411	1404	1404	1399	1393	1394	1450
ν (C-O)	1250–1100	1232	1234	–	1228	1226	1229	1229	1249	1249
ν (C-O-C) пиранозного цикла	1200–1000	1012	1011	1080	1012	1015	1012	1016	1049	1020
d (β-конфигурация гликозидной связи)	920–870	–	–	882	–	–	–	882	873	889
d (α-конфигурация гликозидной связи)	865–820	831	834	–	834	–	831	–	–	–
C1-α-конформация галактуроновой кислоты	763–760	763	763	760	–	–	–	–	–	–

Идентификация полос поглощения в диапазоне от 4000 до 1500 см⁻¹ показала наличие характерных валентных колебаний связанных гидроксильных групп O-H (3550–3200 см⁻¹), а также валентных колебаний C-H связи (2935–2896 см⁻¹) [22]. Полосы валентных колебаний группы C=O в карбоксильной группе проявляются в области 1750–1700 см⁻¹ [23]. Полосы поглощения в интервале волновых чисел 1610–1550 см⁻¹ и 1450–1400 см⁻¹ обусловлены валентными колебаниями карбоксильной группы [24]. Валентные колебания с участием связи C-O, в том числе C-O-C пиранозного цикла, проявляется в области 1250–1000 см⁻¹ [22, 25]. В области отпечатков пальцев удалось обнаружить колебания α- и β-конфигураций гликозидной связи (865–820 см⁻¹ и 920–870 см⁻¹ соответственно) [25], а также характерную полосу поглощения в ВРПС и ПВ – C1-α-конформация галактуроновой кислоты (763–760 см⁻¹) [24].

Выводы

Полисахариды природного происхождения – перспективные лекарственные кандидаты для лечения и профилактики социально значимых заболеваний, включая инфекционные патологии и нарушения метаболизма, а также для разработки специализированных пищевых продуктов. В связи с этим актуален поиск сырьевых источников полисахаридов, их выделение, очистка, фитохимический анализ для последующей разработки пищевых и фармацевтических продуктов на их основе. Актуальность данного научно-практического направления также обуславливается значительным накоплением полисахаридов в растительных объектах, в том числе в пищевых культурах. В ходе данной работы были выделены и очищены методом Севага фракции СРПС, ВРПС и ПВ из корнеплодов, черешков и листьев сельдерея пахучего. Результаты гравиметрической оценки показали, что наибольшим выходом характеризуется ВРПС корнеплодов сельдерея

(в сумме после очистки $13.54 \pm 1.07\%$), однако надземные ботанические формы сельдерея также характеризуются значительным накоплением полисахаридов (в сумме после очистки $5.51 \pm 0.04\%$ в черешках и $11.25 \pm 0.62\%$ в листьях).

Оценка наличия примесей низкомолекулярных соединений методом УФ-спектрофотометрии показала отсутствие характерных для фенольных соединений и пигментов максимумов поглощения во всех очищенных фракциях, кроме СРПС листьев, что может быть обусловлено использованием спирта в качестве экстрагента, который не отличается избирательностью. Оценка примеси азотсодержащих соединений, определенная методом Къельдаля, показала наличие азота после очистки (наибольшее содержание – в ПВ корнеплодов – 2.07 ± 0.14), что говорит о невозможности достичь полной очистки фракций от азотсодержащих соединений методом Севага без критических потерь для их массы. Однако важно отметить, что очистка фракций методом Севага приводила к значительным улучшениям органолептических характеристик полисахаридов и, следовательно, может быть рекомендована для очистки от других балластных веществ.

Мономерный состав полисахаридов был определен методом ВЭТСХ после гидролиза 0.1 М раствором серной кислоты. Установлено, что фракции ПВ всех ботанических форм обладают одинаковым составом сахаров, тогда как наиболее разнообразным мономерным составом характеризуются ВРПС корнеплодов. Однако, исходя из интенсивности пиков, мажоритарными компонентами во фракциях ПВ и ВРПС являются арабиноза и галактоза. Фракции СРПС также демонстрируют схожий, но относительно девиантный состав и помимо арабинозы включают глюкозу и фруктозу. По результатам ИК-спектроскопии подтверждено наличие характерных для полисахаридов валентных колебаний гидроксильных групп О-Н, С-О карбоксильной группы, колебаний С-О-С пиранозного цикла. В области «отпечатков пальцев» наблюдаются характерные полосы колебания α -конфигураций гликозидной связи ($865\text{--}820\text{ см}^{-1}$) в ВРПС листьев и СРПС всех ботанических форм, соответственно, и β -конфигураций гликозидной связи ($920\text{--}870\text{ см}^{-1}$) в ВРПС корнеплодов и черешков, ПВ корнеплодов и листьев. Кроме того, наблюдается характерная полоса поглощения – С1- α -конформации галактуроновой кислоты ($\sim 750\text{ см}^{-1}$) во всех ВРПС и ПВ.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что сельдерей пахучий является перспективным источником полисахаридов и может быть использован для выделения, стандартизации и разработки субстанций фармацевтических и пищевых продуктов. В качестве оптимальных фракций для дальнейшего изучения могут быть рекомендованы ВРПС и ПВ корнеплодов, что обусловлено значительным выходом фракций, отсутствием в них примесей низкомолекулярных соединений, а также ввиду структурных особенностей молекул, включая наличие урановых кислот и преобладания в составе молекул галактозы и арабинозы. А выделение полисахаридов из листьев сельдерея может быть побочным продуктом при выделении других групп БАВ в рамках безотходного производства.

Дополнительная информация

В электронном приложении к статье (DOI: <http://www.doi.org/10.14258/jcprtm.20240214032s>) приведен дополнительный экспериментальный материал, раскрывающий основные положения, изложенные в статье.

Финансирование

Исследование проводили при финансовой поддержке Министерства образования и науки России.

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажите, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Yu Y., Shen M., Song Q., Xie J. Biological Activities and Pharmaceutical Applications of Polysaccharide from Natural Resources: A Review // Carbohydr. Polym. 2018. Vol. 183. Pp. 91–101. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.12.009.
2. Afzal O., Rizwanullah M., Altamimi A. S.A., Alossaimi M.A., Kamal M., Ahmad J. Harnessing natural polysaccharides-based nanoparticles for oral delivery of phytochemicals: Knocking down the barriers // Journal of Drug Delivery Science and Technology. 2023. Vol. 82. Article 104368. DOI: 10.1016/j.jddst.2023.104368.
3. Sukhavattanakul P., Pisitsak P., Ummartyotin S., Narain R. Polysaccharides for Medical Technology: Properties and Applications // Macromolecular Bioscience. 2023. Vol. 23, no. 2. Article 2200372. DOI: 10.1002/mabi.202200372.

4. Государственный реестр лекарственных средств [Электронный ресурс]. URL: <https://grls.rosminzdrav.ru/>.
5. Единый реестр свидетельств государственной регистрации [Электронный ресурс]. URL: <https://nsi.eaeunion.org/>.
6. Frediansyah A. The Antiviral Activity of Iota-, Kappa-, and Lambda-Carrageenan against COVID-19: A Critical Review // *Clin. Epidemiol. Glob. Health*. 2021. Vol. 12. Article e100826.
7. Ren G., Xu L., Lu T., Yin J. Structural Characterization and Antiviral Activity of Lentinan from *Lentinus Edodes* Mycelia against Infectious Hematopoietic Necrosis Virus // *Int. J. Biol. Macromol.* 2018. Vol. 115. Pp. 1202–1210.
8. Claus-Desbonnet H., Nikly E., Nalbantova V., Karcheva-Bahchevanska D., Ivanova S., Pierre G., Benbassat N., Katsarov P., Michaud P., Lukova P., Delattre C. Polysaccharides and Their Derivatives as Potential Antiviral Molecules // *Viruses*. 2022. Vol. 14, no. 2. Article 426. DOI: 10.3390/v14020426.
9. Tian D., Zhong X., Fu L., Zhu W., Liu X., Wu Z., Li Y., Li X., Li X., Tao X., Wei Q., Yang X., Huang Y. Therapeutic effect and mechanism of polysaccharides from *Anoectochilus Roxburghii* (Wall.) Lindl. in diet-induced obesity // *Phytomedicine*. 2022. Vol. 99. Article 154031. DOI: 10.1016/j.phymed.2022.154031.
10. Liang J., Chen W., Zong K., Xu R., Liu Y., Yu N., Xie S. Zhou A. Study on the interventional effects of *Polygonatum cyrtoneuma* polysaccharides on high-fat-diet-induced obese model mice through serum and liver metabolomics // *Journal of Functional Foods*. 2022. Vol. 95. Article 105160. DOI: 10.1016/j.jff.2022.105160.
11. Zeng L., Zhong F., Chen Z., Li G. *Polygonatum sibiricum* polysaccharides protect against obesity and non-alcoholic fatty liver disease in rats fed a high-fat diet // *Food Science and Human Wellness*. 2022. Vol. 11, no. 4. Pp. 1045–1052.
12. Yang F.L., Wei Y.X., Liao B.Y., Wei G.J., Qin G.J. Effects of *Lycium barbarum* polysaccharide on endoplasmic reticulum stress and oxidative stress in obese mice // *Frontiers in Pharmacology*. 2020. Vol. 11. Article 742.
13. Змитрович И.В., Денисова Н.П., Баландайкин М.Э., Белова Н.В., Бондарцева М.А., Переведенцева Л.Г., Перельгин В.В., Яковлев Г.П. Чага и ее биоактивные комплексы: история и перспективы // *Формулы фармации*. 2020. №2. С. 84–93.
14. ScienceDirect [Электронный ресурс]. URL: <https://www.sciencedirect.com>.
15. Яндекс-патенты [Электронный ресурс]. URL: <https://yandex.ru/patents>.
16. Petrova V., Petkova N., Kyobashieva K., Denev P., Simitchiev P., Todorova M., Dencheva N. Isolation of Pectic Polysaccharides from Celery (*Apium graveolens* var. *rapaceum* D. C.) and Their Application in Food Emulsions // *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*. 2014. Vol. 1. Pp. 1818–1824.
17. Ovodova R.G., Golovchenko V.V., Popov S.V., Popova G.Yu., Paderin N.M., Shashkov A.S., Ovodov Y.S. Chemical composition and anti-inflammatory activity of pectic polysaccharide isolated from celery stalks // *Food Chemistry*. 2009. Vol. 114, no. 2. Pp. 610–615. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.09.094.
18. Tsakhkhaeva Z.S. Phytochemical Study of Odorous Celery Root (*Apium graveolens* L.) Grown in the North Caucasus // *Pharmacognosy Journal*. 2019. Vol. 11, no. 3. Pp. 527–530. DOI: 10.5530/pj.2019.11.84.
19. Thuy H.L.T., Bao C.H. Deproteinization in purification of exopolysaccharide from *Ophiocordyceps sinensis* olive oil-stimulated culture // *International Journal of Agricultural Technology*. 2018. Vol. 14, no. 7. Article 2151.
20. ОФС.1.2.3.0011.15. Определение азота в органических соединениях методом Кьельдаля // Государственная фармакопея РФ. XIV изд. М., 2018. Т. 1. URL: <https://femb.ru/record/pharmacopea14>.
21. Oberlerchner J.T. A matrix-resistant HPTLC method to quantify monosaccharides in wood-based lignocellulose biorefinery streams // *Holzforschung*. 2018. Vol. 72, no. 8. Pp. 645–652. DOI: 10.1515/hf-2017-0170.
22. Тюкавкина Н.А., Белобородов В.Л., Зурабян С.Э., Селиванова И.А., Лузин А.П., Аргемьева Н.Н. Органическая химия: учебник. М., 2015. 640 с.
23. Купцов А.Х., Жижин Г.Н. Фурье-КР и Фурье-ИК спектры полимеров. М., 2013. 696 с.
24. Казицына Л.А., Куплетская Н.Б. Применение УФ, ИК, ЯМР спектроскопии в органической химии. М., 1968. 829 с.
25. Hong T., Yin J.Y., Nie S.P. Applications of infrared spectroscopy in polysaccharide structural analysis: Progress, challenge and perspective // *Food chemistry: X*. 2021. Vol. 12. Article 100168.
26. Wang Y., Xian J., Xi X., Wei X. Multi-fingerprint and quality control analysis of tea polysaccharides // *Carbohydr Polym.* 2013. Vol. 92, no. 1. Pp. 583–590. DOI: 10.1016/j.carbpol.2012.09.004.
27. Li B., Robinson D.H., Birt D.F. Evaluation of properties of apigenin and [G-3H]apigenin and analytic method development // *J. Pharm. Sci.* 1997. Vol. 86, no. 6. Pp. 721–725. DOI: 10.1021/js960383s.

Поступила в редакцию 14 ноября 2023 г.

После переработки 21 декабря 2023 г.

Принята к публикации 22 января 2024 г.

Surbeyeva Ye.S.^{*}, Komova S.I., Shurakova V.S., Nevedyuk K.S., Yefremova U.A., Krishtanova N.A., Sanayeva E.P., Terninko I.I. ISOLATION, PURIFICATION AND PHYTOCHEMICAL SCREENING OF POLYSACCHARIDE FRACTIONS FROM *APIUM GRAVEOLENS* L. BOTANICAL FORMS

St. Petersburg State Chemical and Pharmaceutical University, Prof. Popova st., 14A, St. Petersburg, 197376, Russia, bazanova.elizaveta@pharminnotech.com

The study of natural polysaccharides is an important area of research due to their pharmacological effects, including antiviral activity and the ability to regulate metabolic disorders. In addition, these polymeric structures realize several properties (sorption, shaping, transport (and delivery systems), which increases the interest of scientists in their isolation and analysis. This study aims to comparatively investigate the polysaccharide fractions in different botanical forms of celery odouriferous. The objectives of the study include the isolation of polysaccharide fractions, their purification by the Sevag method, estimation of monomeric composition of the fractions after acid hydrolysis by the HPTLC method, and determination of structural characteristics of the molecules by IR spectroscopy. Alcohol-soluble polysaccharides (ASPS), water-soluble polysaccharides (WSPS), and pectin substances (PS) were isolated from leaf, petiole, and root botanical forms of celery. After purification, the obtained substances were amorphous powders of light brown or light beige colour and odourless. The root botanical form of celery showed the highest yield of the target compounds (total (13.54±1.07)% after purification), while the petiole form (total (5.51±0.04)% after purification) showed the lowest yield. The monomeric composition of pectins and WSPS showed a predominance of galactose and arabinose, whereas the alcoholic ones showed a predominance of fructose and glucose. The interpretation of IR spectra showed the presence of absorption bands characteristic of free and bound carboxyl groups, C-O-C valence vibrations, α -configuration of the glycosidic bond, and C1- α -conformation of galacturonic acid in different polysaccharide fractions, which allows us to draw some conclusions regarding the structure of the substances. A comparative study of polysaccharide fractions of different botanical forms of odorous celery was carried out for the first time. Based on the results obtained, it is possible to single out WSPS and PS of celery root crops as the most promising phytosubstances for further development of products of functional, specialized nutrition and potential medicines on their basis. The methods of analysis used in the study can be proposed as part of the regulatory documentation for the control of these products.

Keywords: polysaccharide fractions, water-soluble polysaccharides, pectin substances, specialized nutrition, odorous celery, *Apium graveolens* L., botanical forms, HPTLC, IR spectroscopy.

For citing: Surbeyeva Ye.S., Komova S.I., Shurakova V.S., Nevedyuk K.S., Yefremova U.A., Krishtanova N.A., Sanayeva E.P., Terninko I.I. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2024, no. 2, pp. 126–137. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20240214032.

References

1. Yu Y., Shen M., Song Q., Xie J. *Carbohydr. Polym.*, 2018, vol. 183, pp. 91–101. DOI: 10.1016/j.carbpol.2017.12.009.
2. Afzal O., Rizwanullah M., Altamimi A. S.A., Alossaimi M.A., Kamal M., Ahmad J. *Journal of Drug Delivery Science and Technology*, 2023, vol. 82, article 104368. DOI: 10.1016/j.jddst.2023.104368.
3. Sukhavattanakul P., Pisitsak P., Ummartyotin S., Narain R. *Macromolecular Bioscience*, 2023, vol. 23, no. 2, article 2200372. DOI: 10.1002/mabi.202200372.
4. *Gosudarstvennyy reyestr lekarstvennykh sredstv* [State register of medicines]. URL: <https://grls.rosminzdrav.ru/>. (in Russ.).
5. *Yedinyy reyestr svidetel'stv gosudarstvennoy registratsii* [Unified register of state registration certificates]. URL: <https://nsi.eaeunion.org/>. (in Russ.).
6. Frediansyah A. *Clin. Epidemiol. Glob. Health*, 2021, vol. 12, article e100826.
7. Ren G., Xu L., Lu T., Yin J. *Int. J. Biol. Macromol.*, 2018, vol. 115, pp. 1202–1210.
8. Claus-Desbonnet H., Nikly E., Nalbantova V., Karcheva-Bahchevanska D., Ivanova S., Pierre G., Benbassat N., Katsarov P., Michaud P., Lukova P., Delattre C. *Viruses*, 2022. Vol. 14, no. 2, article 426. DOI: 10.3390/v14020426.
9. Tian D., Zhong X., Fu L., Zhu W., Liu X., Wu Z., Li Y., Li X., Li X., Tao X., Wei Q., Yang X., Huang Y. *Phytomedicine*, 2022, vol. 99, article 154031. DOI: 10.1016/j.phymed.2022.154031.
10. Liang J., Chen W., Zong K., Xu R., Liu Y., Yu N., Xie S. Zhou A. *Journal of Functional Foods*, 2022, vol. 95, article 105160. DOI: 10.1016/j.jff.2022.105160.
11. Zeng L., Zhong F., Chen Z., Li G. *Food Science and Human Wellness*, 2022, vol. 11, no. 4, pp. 1045–1052.
12. Yang F.L., Wei Y.X., Liao B.Y., Wei G.J., Qin G.J. *Frontiers in Pharmacology*, 2020, vol. 11, article 742.
13. Zmitrovich I.V., Denisova N.P., Balandaykin M.E., Belova N.V., Bondartseva M.A., Perevedentseva L.G., Pereygin V.V., Yakovlev G.P. *Formuly farmatsii*, 2020, no. 2, pp. 84–93 (in Russ.).
14. *ScienceDirect*. URL: <https://www.sciencedirect.com>.
15. *Yandex-patenty* [Yandex-patents]. URL: <https://yandex.ru/patents>. (in Russ.).
16. Petrova V., Petkova N., Kyobashieva K., Denev P., Simitchiev P., Todorova M., Dencheva N. *Turkish Journal of Agricultural and Natural Sciences*, 2014, vol. 1, pp. 1818–1824.
17. Ovodova R.G., Golovchenko V.V., Popov S.V., Popova G.Yu., Paderin N.M., Shashkov A.S., Ovodov Y.S. *Food Chemistry*, 2009, vol. 114, no. 2, pp. 610–615. DOI: 10.1016/j.foodchem.2008.09.094.
18. Tsakhkhaeva Z.S. *Pharmacognosy Journal*, 2019, vol. 11, no. 3, pp. 527–530. DOI: 10.5530/pj.2019.11.84.
19. Thuy H.L.T., Bao C.H. *International Journal of Agricultural Technology*, 2018, vol. 14, no. 7, article 2151.

* Corresponding author.

20. *Gosudarstvennaya farmakopeya RF. XIV izd.* [State Pharmacopoeia of the Russian Federation. XIV ed.]. Moscow, 2018, vol. 1. URL: <https://femb.ru/record/pharmacopea14> (in Russ.).
21. Oberlerchner J.T. *Holzforschung*, 2018, vol. 72, no. 8, pp. 645–652. DOI: 10.1515/hf-2017-0170.
22. Tyukavkina N.A., Beloborodov V.L., Zurabyan S.E., Selivanova I.A., Luzin A.P., Artemyeva N.N. *Organicheskaya khimiya: uchebnik*. [Organic chemistry: textbook]. Moscow, 2015, 640 p. (in Russ.).
23. Kuptsov A.Kh., Zhizhin G.N. *Fur'ye-KR i Fur'ye-IR spektry polimerov*. [Fourier-Raman and Fourier-IR spectra of polymers]. Moscow, 2013, 696 p. (in Russ.).
24. Kazitsyna L.A., Kupletskaya N.B. *Primeneniye UF, IK, YaMR spektroskopii v organicheskoy khimii*. [Application of UV, IR, NMR spectroscopy in organic chemistry]. Moscow, 1968, 829 p. (in Russ.).
25. Hong T., Yin J.Y., Nie S.P. *Food chemistry: X*, 2021, vol. 12, article 100168.
26. Wang Y., Xian J., Xi X., Wei X. *Carbohydr Polym.*, 2013, vol. 92, no. 1, pp. 583–590. DOI: 10.1016/j.carbpol.2012.09.004.
27. Li B., Robinson D.H., Birt D.F. *J Pharm Sci.*, 1997, vol. 86, no. 6, pp. 721–725. DOI: 10.1021/js960383s.

Received November 14, 2023

Revised December 21, 2023

Accepted January 22, 2024

Сведения об авторах

Сурбеева Елизавета Сергеевна – аспирант, химик-аналитик испытательной лаборатории (центра контроля качества лекарственных средств), куратор молодежного научного общества, bazanova.elizaveta@pharminnotech.com

Комова Софья Игоревна – член молодежного научного сообщества, hosekrit@gmail.com

Шуракова Валерия Сергеевна – студент, член молодежного научного сообщества, valeriya.shurakova@spepu.ru

Неведюк Ксения Степановна – студент, член молодежного научного сообщества, kseniya.nevedyuk@spepu.ru

Ефремова Ульяна Андреевна – студент, член молодежного научного сообщества, ulyana.efremova@spepu.ru

Криштанова Надежда Александровна – кандидат фармацевтических наук, доцент кафедры фармацевтической химии, nadezhda.krishtanova@pharminnotech.com

Санаева Элла Павловна – кандидат химических наук, доцент кафедры фармацевтической химии, ella.sanaeva@pharminnotech.com

Тернинко Инна Ивановна – доктор фармацевтических наук, начальник испытательной лаборатории (центра контроля качества лекарственных средств), доцент кафедры фармацевтической химии, inna.terninko@pharminnotech.com

Information about authors

Elizaveta Sergeevna Surbeeva – graduate student, analytical chemist at the testing laboratory (medicine quality control center), curator of the youth scientific society, bazanova.elizaveta@pharminnotech.com

Komova Sofya Igorevna – member of the youth scientific community, hosekrit@gmail.com

Shurakova Valeria Sergeevna – student, member of the youth scientific community, valeriya.shurakova@spepu.ru

Nevedyuk Ksenia Stepanovna – student, member of the youth scientific community, kseniya.nevedyuk@spepu.ru

Efremova Ulyana Andreevna – student, member of the youth scientific community, ulyana.efremova@spepu.ru

Krishtanova Nadezhda Aleksandrovna – candidate of pharmaceutical sciences, associate professor of the department of pharmaceutical chemistry, nadezhda.krishtanova@pharminnotech.com

Sanaeva Ella Pavlovna – candidate of chemical sciences, associate professor of the department of pharmaceutical chemistry, ella.sanaeva@pharminnotech.com

Terninko Inna Ivanovna – doctor of pharmaceutical sciences, head of the testing laboratory (medicine quality control center), associate professor of the department of pharmaceutical chemistry, inna.terninko@pharminnotech.com