

УДК 577.114.083

ФИТОХИМИЯ ТРАВЫ ОВСА МОЛОЧНОЙ СПЕЛОСТИ*

© Т.Н. Бочко^{1**}, Н.А. Огренич², М.А. Малышко³, А.Ю. Шишов¹

¹ Санкт-Петербургский государственный университет, Университетская наб., 7-9, Санкт-Петербург, 199034, Россия, tatiana-susliako@mail.ru

² УЗ «Барановичский родильный дом», ул. Гагарина, 10, Барановичи, 225320, Республика Беларусь

³ УЗ «16-ая городская клиническая поликлиника», ул. Щедрина, 83, Минск, 220053, Республика Беларусь

Овес *Avena sativa* L. является широко распространенным злаковым растением, содержащим полисахариды, полифенолы, протеины и насыщенные жирные кислоты. Полисахариды – биологически активные вещества, характеризующиеся отхаркивающим, противовоспалительным, иммуностропным, энтеросорбирующим, гепатопротекторным, антиоксидантным и общеукрепляющим действиями. Экстракция полисахаридов из растений производится горячей водой, ультразвуковым излучением, ферментацией и глубокими эвтектическими растворителями. В работе разработана и описана новая методика водной экстракции полисахаридов из растения овса молочной спелости. Суть этого метода: экстракция холодной водой из растения овса в стадии молочной спелости в течение 12 ч при комнатной температуре, затем кипячение полученного экстракта вместе с травой в течение 1 мин, настаивание в течение 30 мин. Затем экстракт процеживали и использовали в работе. Проведен анализ влияния времени и температуры на количественное содержание полисахаридов из овса молочной спелости при таком методе приготовления водного экстракта. Помимо полисахаридов проведен фитохимический скрининг водного экстракта травы овса молочной спелости на общее содержание алкалоидов, танинов, гликозидов, полифенолов, флавоноидов, а также определена его антиоксидантная активность. Проведен сравнительный анализ разных методов приготовления водных экстрактов из травы овса молочной спелости.

Ключевые слова: трава овса молочной спелости, полисахариды, фитохимический скрининг, экстракция, хроматография.

Для цитирования: Бочко Т.Н., Огренич Н.А., Малышко М.А., Шишов А.Ю. Фитохимия травы овса молочной спелости // Химия растительного сырья. 2025. №2. С. 260–268. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250215794>.

Введение

Овес *Avena sativa* L. обладает рядом эффективных лечебных действий на организм, благодаря биологически активным соединениям (БАС), содержащимся в этом злаке. Доказано, что БАС овса не оказывают токсического действия в эксперименте на животных и в клинических наблюдениях. Экстракты этого злака при приеме внутрь снижают уровень холестерина низкой плотности, оказывают слабое седативное и слабое мочегонное, обволакивающее и сорбирующее, противовоспалительное, антиоксидантное, антигипоксическое, гипогликемическое, иммуномодулирующее, репаративное и ряд других действий на организм [1]. Кроме этого, водные экстракты из овса способствуют восстановлению кишечного микробиома человека, положительно влияют на продукцию ими короткоцепочечных жирных кислот и это, в свою очередь, важное условие физиологической функции кишечника. Благодаря содержанию аминокислот, включая незаменимые, липидов, белков, углеводов, клетчатки, многих витаминов, овес широко используется в детском и диетическом питании [2]. Многие фитотерапевты используют растение овса наружно для аппликации при воспалительных кожных заболеваниях. Препараты из овса применяют в гомеопатии. Потребление овса во всем мире набирает популярность благодаря его составу и многофункциональным преимуществам отдельных компонентов. По сравнению с другими злаками, кроме полисахаридов, овес содержит достаточно высокую концентрацию липидов. Примерно 50–85% липидов овса составляют нейтральные ацилглицерины, причем большинство из них –

*Данная статья имеет электронный дополнительный материал (приложение), который доступен читателям на сайте журнала. DOI: 10.14258/jcprm.20250215794s

** Автор, с которым следует вести переписку.

триацилглицерины. Пальмитиновая, олеиновая и линолевая кислоты – три наиболее распространенные жирные кислоты в овсе, на долю которых приходится 90–95% от общего содержания жирных кислот. В дополнение к этим жирным кислотам в состав овсяных липидов также входят стеариновая, линоленовая, миристиновая и эйкозеновая кислоты в гораздо меньших количествах.

В работе [2] экстрагировали ряд биологически активных соединений из овса, включая β -глюкан, лигнаны, токолы, фенольные кислоты, стерины и авенантрамиды. Стандартные фитостеролы, содержащиеся в овсе, были идентифицированы как β -ситостерин, ситостанол, Δ^5 -авенастерол, Δ^7 -авенастерол, кампестерол, кампестанол и стигмастерол. Концентрация токотриенола в овсе колеблется примерно от 16 до 36 мкг/г, большую часть которого составляет α -токотриенол (57–69% от общего количества). В овсе содержится множество фенольных соединений, которые проявляют антиоксидантную активность, их концентрации варьируются примерно от 200 до 870 мкг/г, причем наиболее распространенными являются фенольные кислоты. Две аминокислоты – фенилаланин и тирозин – подвергаются неокислительному дезаминированию с образованием коричной кислоты и п-кумаровой кислоты, которые являются двумя фенольными соединениями, играющими центральную метаболическую роль растения.

β -глюкан – биологически активное соединение, представляющее собой растворимое пищевое волокно. Полисахаридные цепочки β -глюкана обычно находятся в клеточных стенках бактерий, грибов, пекарских дрожжей и зерен злаков. Расположение этих β -гликозидных связей в β -глюканах, содержащихся в овсе, приводит к образованию уникальной группы полисахаридов, которые обладают большей гибкостью, растворимостью и вязкостью, чем целлюлоза. В метаанализе клинических исследований [4] β -глюкан значительно снижает уровни общего холестерина (ОХ) и холестерина липопротеинов низкой плотности (ХС-ЛПНП), но не триглицеридов (ТГ) и холестерина липопротеинов высокой плотности (ХС-ЛПВП). Компоненты овса (клетчатка, β -глюкан) могут уменьшить накопление жира с помощью нескольких посреднических механизмов, центров головного мозга, регулирующих аппетит, функции желудочно-кишечного тракта, кишечных бактерий, синтеза и метаболизма жиров, а также, возможно, посредством изменений в окислительных процессах, рецепторах стероидных гормонов и васкуляризации жировой ткани [5].

Также было высказано предположение, что β -глюкан может влиять на энтерогепатическую рециркуляцию желчных солей посредством прямого взаимодействия, ограничивая возврат желчных кислот в печень, что приводит к увеличению печеночного превращения холестерина в желчные кислоты, снижая уровень холестерина в крови [6].

Доคลินิกическое исследование и несколько клинических исследований показали, что компоненты овса эффективны для снижения артериального давления [7]. Потребление цельнозерновых продуктов и зерновых волокон в рамках здорового питания может снизить риск развития ишемической болезни сердца. β -глюкан, полученный из овса, эффективен в снижении тяжелой гипертонии на 20 мм рт. ст. среднего артериального давления (с ~200 мм рт. ст. до ~180 мм рт. ст.) [8].

Овес, ячмень и полученные из них экстракты растворимой клетчатки также продемонстрировали благоприятное воздействие на толерантность к глюкозе, что приводит к повышению уровня глюкозы и инсулиновой реакции после приема пищи [9]. В исследовании [10] показано, что β -D-глюкан овса увеличивает содержание гликогена, снижает фосфорилирование гликогенсинтазы и увеличивает фосфорилирование печеночной киназы гликогенсинтазы 3β для синтеза гликогена посредством PI3K/AKT/GSK3-опосредованной активации гликогенсинтазы. Более того, β -D-глюкан овса ингибировал глюконеогенез за счет снижения PI3K/AKT/Foxo1-опосредованной фосфоенолпируваткарбоксикиназы (PEPCK). Кроме того, β -D-глюкан овса усиливает катаболизм глюкозы за счет повышения уровня белковых комплексов COQ9, UQCRC2, COXIV и ATP5F, участвующих в окислительном фосфорилировании, а также уровня TFAM, ключевого регулятора экспрессии митохондриальных генов.

Результаты исследования [11] продемонстрировали благоприятный эффект β -глюканов овса с высокой молярной массой при хроническом гастрите у людей, что приводит к уменьшению повреждения слизистой оболочки и здоровым изменениям в концентрации SCFA в фекалиях, метаболизме глутатиона в сыворотке периферической крови и параметрах антиоксидантной защиты.

В последние годы появились сообщения о попытках производства продуктов на основе овса с целью одновременного сочетания полезных эффектов пробиотических микроорганизмов, овса и его компонентов, таких как растворимые волокна, β -глюкан [12]. Таким образом, полисахариды считаются перспективными

молекулами в области функциональных пищевых продуктов, а также пробиотическими ферментируемыми субстратами, способными модулировать микрофлору кишечника [13–15].

Широко используются методы экстракции полисахаридов, включая экстракцию глубокими эвтектическими растворителями, горячей водой, ультразвуковой экстракцией, ферментативной экстракцией и ферментно-ультразвуковой экстракцией [16–22]. Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки с точки зрения удобства, стоимости, затрат времени, воздействия на окружающую среду, а также количественной экстракции полисахаридов. Поэтому разработка нового и эффективного метода экстракции полисахаридов из травы овса молочной спелости является весьма актуальной. В литературе достаточно много сообщений по химическому составу и содержанию БАС в зернах овса и лишь единичные сообщения о применении травы овса в стадии молочной спелости и чаще в виде рекомендаций или определенных сборов практикующих фитотерапевтов. Если анализировать в литературе методы приготовления лекарственных форм из зерен овса, не говоря о растении овса в стадии молочной спелости, то нет единого и обоснованного метода. Одни авторы рекомендуют заваривать на водяной бане, другие – методом кипячения в течение определенного времени. В литературе не встречаются сообщения о сравнительном содержании БАС в приготовленных экстрактах в зависимости от их метода приготовления. Цель работы – проведение сравнительного анализа содержания БАС в овсе стадии молочной спелости в зависимости от метода приготовления водного экстракта. Овес, злаковая культура, которая неприхотлива в выращивании и при сборе его в стадии молочной спелости, даже в средней полосе Европейской части в течение сезона можно собирать два урожая. Учитывая это обстоятельство и лечебно-профилактический потенциал этого растения, его выращивание на экологически чистых участках и последующая реализация может быть перспективной деятельностью для фермерских хозяйств.

Важно отметить, что в последнее время активно исследуется экстракция БАС новыми «зелеными» растворителями – глубокими эвтектическими растворителями (ГЭР) [23]. В качестве экстрагентов синтезированы различные экологически безопасные эвтектические растворители на основе таких соединений, как холин хлорид, который используется в качестве акцептора водородной связи. Донорами водородной связи выступают следующие соединения, природные органические кислоты: яблочная, малоновая, винная, лимонная, молочная, амиды: мочевины и ее производные, спирты (этиленгликоль, пропиленгликоль, глицерин), сахара (фруктоза, глюкоза, сорбит). Данные растворители продемонстрировали эффективное извлечение БАС из различных растений [24]. Таким образом, в работе проведена экстракция БАВ из травы овса молочной спелости водой и ГЭР на основе холин хлорида с этиленгликолем.

Экспериментальная часть

Материалы. Трава овса была срезана 7–10 см над землей в период молочной спелости, подсушена в течение 3 суток в тени под навесом, нарезана длиной 1 см, высушена и упакована в картонный короб. Срок хранения в темном проветриваемом помещении составляет 2 года. Условия хранения: влажность помещения – не более 50%, комнатная температура и защита от света.

Реактивы. Муравьиная кислота (98–100%), 1,1-дифенил-2-пикрилгидразил (DPPH, 99%), этанол (99–100%), метанол (99.8%), хлороформ (99.8%), ацетонитрил (99.9%), 9(10H)-антраценон (антрон, 97%), хлорид алюминия (99%), хлорид железа (95%), бромкрезоловый зеленый (95%), гидроксид натрия (98.7%), фосфат натрия (95%), ферроцианид калия (95%), соляная кислота (37%), танниновая кислота (99%), галловая кислота (99%), *n*-кумаровая кислота (99%), рутин (99%), кверцетин (99%), дигоксин (99%), атропин (96%) фирмы Sigma-Aldrich.

Пробоподготовка. Экстракцию полисахаридов из травы овса *Avena sativa* L. (далее – овса) проводили следующим образом: к 1 г овса добавили 50 мл дистиллированной воды, нагревали при температуре 50 и 80 °C в ультразвуковой ванне в течение 50 мин (метод УЗ излучения); добавляли кипяток и выдерживали в течение 20 мин (метод экстракции горячей водой), а также по разработанной методике, описанной ниже.

Разработанная методика: 1 г травы овса молочной спелости заливали дистиллированной водой объемом 50 мл, выдерживали в течение 1, 3, 5, 8, 10, 12, 19 и 20 ч для предварительной стадии ферментации, после чего нагревали до кипения и кипятили полученный экстракт овса в течение 1 мин.

Степень измельчения. Проведено сравнение эффективности экстракции полисахаридов из овса в зависимости от степени измельчения. Была проведена экстракция фитокомпонентов из травы овса длиной 1 см (без измельчения), а также овес был измельчен в мелкий порошок и просеян через сито с размером частиц 2 мм.

Приготовление глубоких эвтектических растворителей. Приготовление глубокого эвтектического растворителя включал комбинацию хлорид холина с этиленгликолем в мольном соотношении 1 : 2 и 30% воды.

ВЭЖХ-УФ-анализ (Shimadzu LC-20AD, Япония) проводили с использованием двух растворителей: сверхчистой воды с 0.1% (по объему) муравьиной кислоты (А) и ацетонитрила с 0.1% (по объему) муравьиной кислоты (Б) в градиентной программе. Программа градиента выполнялась следующим образом: от 0 до 16 мин, от 5 до 25% Б; от 17 до 32 мин, от 25 до 55% Б; от 33 до 59 мин, от 55 до 90% Б; и от 60 до 73 мин, от 90 до 5% Б. Анализы проводили на колонке C18 (250 × 4.6 мм, то есть 5 мкм). Растворители, экстракты и стандартные образцы веществ фильтровали с помощью мембранного фильтра с размером пор 0.45 мкм. Стандартные образцы п-кумаровой кислоты ($R^2=0.96$), галловой кислоты ($R^2=0.96$), ванилина ($R^2=0.99$), кофеина ($R^2=0.97$) и рутина ($R^2=0.94$) были приготовлены с концентрацией 1000 мкг/мл в метаноле и хранились при температуре -4°C . Рабочие растворы готовили путем последовательного разбавления исходных растворов.

Спектрофотометрия. Фитохимический скрининг биологически активных веществ экстрактов овса проводили с помощью спектрофотометра UV/Vis (Shimadzu, UV-1240, Япония).

Антиоксидантная активность. Для определения общей антиоксидантной активности использовали метод DPPH по методике [23].

Определение общего содержания полифенолов. Содержание полифенолов определяли спектрофотометрически в соответствии с колориметрическим методом Фолина-Чокалтеу [23]. Оптическую плотность образца измеряли при 770 нм. Значения концентрации экстракта овса в данном случае рассчитывали с использованием калибровочной кривой, полученной по стандартному раствору галловой кислоты, результаты выражали в мг галловой кислоты / г овса.

Определение содержания полисахаридов. Для определения общего содержания полисахаридов применяли метод [1]. Для этого 0,01 г антрона растворяли в 40 мл дистиллированной воды. Стандартный раствор крахмала: 0.05 г крахмала (1 мг/мл) растворяли в 50 мл дистиллированной воды. В ходе исследования в четыре пробирки помещали 20, 40, 60 и 80 мг/мл стандартных растворов крахмала, а затем добавляли дистиллированную воду до 5 мл. В каждую пробирку добавляли по 1 мл экстракта и измеряли оптическую плотность через 10 мин. Определение оптической плотности каждого образца проводили при длине волны 540 нм. В качестве холостой пробы использовали раствор антрона с водой.

Определение флавоноидов. Метод определения флавоноидов с использованием алюмохлоридного реагента представляет собой стандартный метод для количественной оценки общего содержания флавоноидов в растительных экстрактах, который заключается в образовании стабильных окрашенных комплексов между флавоноидами и ионом алюминия в растворе. Для определения флавоноидов в овсе добавляли 100 мкл водного экстракта к алюмохлоридному реагенту. Растворы перемешивали и оставляли на 30 минут при комнатной температуре. Через 30 мин измеряли оптическую плотность при длине волны 410 нм относительного холостой пробы [25].

Определение алкалоидов. Для определения алкалоидов использовали методику [26]. Раствор бромкрезолового зеленого готовили путем нагревания 69.8 мг бромкрезолового зеленого с 3 мл 2 н NaOH и 5 мл дистиллированной воды до полного растворения, после чего раствор разбавляли дистиллированной водой до 1000 мл. Фосфатный буферный раствор (pH 4.7) готовили путем доведения pH 2 М раствора фосфата натрия до 4.7 с 0.2 м раствора лимонной кислоты. Стандартный раствор кофеина готовили путем растворения 1 мг чистого кофеина (Sigma Chemical, США) в 10 мл дистиллированной воды).

К 0.4, 0.6, 0.8, 1 и 1.2 мл стандартного раствора кофеина добавляли 2.2 мл ацетатного буфера, 100 мкл 4М соляной кислоты и 2.5 мл раствора бромкрезолового зеленого, хлороформом доводили раствор до 10 мл и взбалтывали смесь. После чего отбирали 2 мл хлороформного экстракта и разбавляли хлороформом до 5 мл. Поглощение комплекса в хлороформе измеряли при длине волны 470 нм по сравнению с раствором, приготовленным, как указано выше, но без кофеина. Для определения алкалоидов в овсе вместо кофеина добавляли 1 мл экстракта.

Определение танинов. В качестве раствора 1 использовали 0.1 М хлорида железа FeCl_3 , 0.008 М раствор ферроцианида калия $\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6$ и 0.1 н HCl по методике [25].

Определение гликозидов. Для определения гликозидов в овсе использовали методику [27].

Статистическая обработка результатов. Полученные данные представляют собой среднее значение двух измерений для каждой пробы. Статистические данные были получены с помощью дисперсионного анализа (ANOVA) с помощью программного пакета SPSS 16.0 для Windows (IBM SPSS, Armonk, Нью-Йорк, США), а средние значения были разделены с помощью тестов Дункана с несколькими диапазонами.

Результаты и их обсуждение

Фитохимический скрининг. В таблице 1 представлены результаты фитохимического скрининга общего содержания полисахаридов, танинов, гликозидов, алкалоидов, флавоноидов, полифенолов и определена антиоксидантная активность овса молочной спелости по разработанной методике. Водный экстракт овса молочной спелости содержит полисахариды, полифенолы, танины и в меньшем количестве – флавоноидов, гликозидов и алкалоидов. Следует отметить, что при ультразвуковом излучении вода извлекает меньшее количество указанных классов биологически активных соединений из овса по сравнению с разработанной методикой. Более того антиоксидантная активность водного экстракта овса, полученного по разработанной методике, выше в 1.5 раза по сравнению с методом УЗ-излучения.

Экстракция полисахаридов. Спектрофотометрический метод определения полисахаридов основан на их цветной реакции с антроном. В таблице 2 приведены результаты определения общего содержания полисахаридов в полученном экстракте с использованием указанных в работе методов экстракции. Видно, что степень измельчения травы овса влияет на экстракцию полисахаридов из растения. В работе изучено влияние времени предварительной ферментации экстракта холодной водой от 1 до 20 ч с последующим кипячением полученного экстракта. Видно, что оптимальными условиями извлечения полисахаридов являются следующие: измельченный овес, время экстракции составляет 12 ч холодной водой и 1 мин кипячения полученного экстракта вместе с растительным сырьем. Очевидно, что при холодной экстракции в течение 12 ч происходит начальный процесс ферментации овса (за счет окисления ферментов овса) и наблюдается освобождение молекул полисахаридов и других биологически активных веществ из растения в воду. Кроме того, изучено время и температура экстракции полисахаридов из овса молочной спелости с использованием ультразвукового излучения, при 80 °С содержание полисахаридов увеличивается почти в 2 раза по сравнению с температурой 50 °С. Обнаружено, что экстракция полисахаридов из овса молочной спелости кипятком позволяет экстрагировать на 20% меньше полисахаридов по сравнению с ультразвуковым излучением и на 75% меньше, чем по разработанной методике.

Результаты ВЭЖХ-УФ анализа. Установлено, что экстракт, полученный по разработанной методике, содержит кофеин, рутин, ванилин, галловую и *n*-кумаровую кислоты. При экстракции горячей водой и с использованием ультразвукового излучения в экстракте обнаружены *n*-кумаровая кислота, кофеин и рутин (табл. 3).

Таким образом, разработанная методика позволяет извлечь максимальное количество полезных биологически активных веществ из растительного сырья по сравнению с изученными традиционными методами. Экстрагированные в ходе исследования действующие вещества овса таким методом безопасны для организма человека и являются перспективными субстратами для использования их в комплексном лечении многих хронических заболеваний, фитореабилитации после антибактериальной терапии, тяжелой болезни, оперативного вмешательства [2]. С целью снижения смертности и увеличения качества жизни человека водный экстракт из овса молочной спелости можно рекомендовать для утреннего приема с целью лечения и профилактики болезней ЖКТ, ожирения, сердечно-сосудистых и многих эндокринных заболеваний.

Экстракция БАВ глубоким эвтектическим растворителем. В качестве контрольных экстрагентов использовались традиционно используемые растворители, такие как вода, метанол, ацетонитрил, этанол, а также водно-спиртовые смеси. Для этого измельчали 10 г овса, тщательно перемешивали, помещали 50 мг в стеклянный сосуд, добавляли 10 мл соответствующего экстрагента и помещали флаконы в ультразвуковую ванну. Экстракцию проводили при различных температурах от 40 до 80 °С в течение 10, 30 и 60 мин соответственно. Во время экстракции отбирали порции экстракта по 100 мкл, смешивали с 400 мкл метанола, фильтровали и анализировали методами ВЭЖХ-УФ. Обнаружено, что при использовании ГЭР концентрация галловой кислоты составила 589 мг/г, кофеина – 4.17 мг/г, рутина – 16.3 мг/г, кверцетина – 34.08 мг/г, *n*-кумаровой кислоты – 9.02 мг/г, ванилина – 3.15 мг/г.

С использованием данных фитохимического скрининга было определено содержание биологически активных соединений в экстрактах. Их концентрации представлены в таблице 4.

Обнаружено, что оптимальными условиями экстракции фитокомпонентов трав являются 80 °С при 60 мин при использовании традиционных растворителей. Применение холин хлорида с этиленгликолем позволяет уменьшить температуру экстракции на 30 °С и увеличить степень извлечения полисахаридов. Дальнейшие исследования будут посвящены изучению экстракции БАВ разными ГЭР, а также влиянию типа ГЭР на степень извлечения разных классов фитохимических соединений (алкалоидов, гликозидов, танинов, фенолов, флавоноидов и полисахаридов).

Таблица 1. Результаты определения антиоксидантной активности (DPPH, %) и общего содержания биологически активных веществ в экстракте овса, полученного по разработанной методике

| Методика | Полисахариды, мг/г | Полифенолы, мг/г | Флавоноиды, мг/г | Танины, мг/г | Алкалоиды, мг/г | DPPH, % |
|------------------------|--------------------|------------------|------------------|--------------|-----------------|---------|
| Разработанная методика | 620±60 | 120.2±13 | 2.33±0.18 | 21.83±2.3 | 0.87±0.09 | 35±3 |

Таблица 2. Содержание полисахаридов в экстракте овса с использованием разных методов экстракции

| Методика | Условия | Концентрация, мг/г | | | |
|--------------------------|---------|-----------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|
| | | Не измельченная трава | | Измельченная трава овса | |
| | | До кипения | Кипячение в течение 1 мин | До кипения | Кипячение в течение 1 мин |
| Разработанная методика | 1 ч | 180±15 | 190±16 | 350±34 | 375±32 |
| | 3 ч | 220±20 | 230±20 | 420±41 | 427±41 |
| | 5 ч | 219±18 | 240±21 | 419±40 | 428±40 |
| | 6 ч | 230±21 | 250±23 | 300±27 | 534±52 |
| | 12 ч | 248±22 | 265±24 | 490±47 | 616±60 |
| | 19 ч | 255±23 | 310±30 | 380±35 | 620±61 |
| | 20 ч | 261±24 | 315±28 | 382±36 | 622±62 |
| Ультразвуковое излучение | 50 °С | 75.4±5 | | 109±9 | |
| | 80 °С | 149±12 | | 198±10 | |
| Экстракция горячей водой | 20 мин | 100±8 | | 156±12 | |

Таблица 3. Содержание биологически активных веществ в полученных экстрактах овса с использованием метода ВЭЖХ-УФ

| Вещество | Время удерживания, мин | Концентрация, мг/г | | |
|-----------------------------|------------------------|------------------------|---------------------|-----------|
| | | Разработанная методика | Экстракция кипятком | УЗ метод |
| Галловая кислота | 14.16 | 1.96±0.07 | н.о. | н.о. |
| Кофеин | 23.26 | 1.94±0.06 | 1.00±0.03 | 1.20±0.03 |
| Рутин | 27.62 | 4.70±0.08 | 3.00±0.05 | 3.20±0.05 |
| <i>п</i> -Кумаровая кислота | 30.1 | 3.0±0.04 | 2.00±0.04 | 1.00±0.03 |
| Ванилин | 30.58 | 0.84±0.02 | н.о. | н.о. |

Таблица 4. Содержание исследуемых биологически активных соединений в экстрактах овса

| Растворитель | Концентрация, мг/г | | | | | | DPPH, % |
|-----------------------|--------------------|--------------|--------|-----------|------------|-----------|---------|
| | полифенолы | полисахариды | танины | алкалоиды | флавоноиды | гликозиды | |
| Метанол | 0.762 | 152.3 | 0.253 | 2.369 | 0.016 | 4.5 | 27.2 |
| Этанол | 0.880 | 176.0 | 0.202 | 2.200 | 0.018 | 5.2 | 20.4 |
| Этанол – вода (1 : 1) | 0.846 | 169.2 | 0.227 | 2.031 | 0.013 | 5 | 30.1 |
| Вода | 3.385 | 200.0 | 0.328 | 0.491 | 0.009 | 0 | 35.3 |
| Ацетонитрил | 0.085 | 16.9 | 0.051 | 0.169 | 0.002 | 0.5 | 15.2 |
| ГЭР | 0.39 | 753 | 0.197 | 1.997 | 0.027 | 2.5 | 10.1 |

Заключение

В работе представлены результаты фитохимического скрининга водного экстракта овса молочной спелости на содержание полисахаридов, алкалоидов, полифенолов, флавоноидов, гликозидов, танинов, а также определена его антиоксидантная активность при использовании разных методов пробоподготовки. Показано, что для более эффективной экстракции полисахаридов из овса молочной спелости необходимы следующие условия: время экстракции измельченного овса в холодной воде при комнатной температуре составляет 12 ч, затем кипячение вместе с травой полученного экстракта в течение 1 мин. Глубокие эвтектические растворители на примере холин хлорида с этиленгликолем являются перспективными растворителями для извлечения фитокомпонентов из растительного сырья и требуют дальнейших исследований.

Дополнительная информация

В электронном приложении к статье (DOI: <http://www.doi.org/10.14258/jcprm.20250215794s>) приведен дополнительный экспериментальный материал, раскрывающий основные положения, изложенные в статье.

Финансирование

Работа выполнена при поддержке Санкт-Петербургского государственного университета, шифр проекта 115679504.

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 укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Кахраманова С.Д., Боков Д.О., Самылина И.А. Количественное определение полисахаридов в лекарственном растительном сырье // Фармация. 2020. Т. 69, №8. С. 5–12. <https://doi.org/10.29296/25419218-2020-08-01>.
2. Paudel D., Dhungana B., Caffè M., Krishnan P. A Review of Health-Beneficial Properties of Oats // Foods. 2021. Vol. 10. 2591. <https://doi.org/10.3390/foods10112591>.
3. Bichet D.G. X-linked nephrogenic diabetes insipidus mutations in North America and the Hopewell hypothesis // Journal Clin. Invest. 1993. Vol. 92, no. 3. Pp. 1262–1268. <https://doi.org/10.1172/JCI116698>.
4. Amerizadeh A. et al. Effect of Oat (*Avena sativa* L.) Consumption on lipid profile with focus on triglycerides and high-density lipoprotein cholesterol (HDL-C): an updated systematic review // Curr. Probl. Cardiol. 2023. Vol. 48, no. 7. 101153. <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2022.101153>.
5. Sirotkin A.V. The effect of dietary oat consumption and its constituents on fat storage and obesity // Physiol. Res. 2023. Vol. 72. Pp. 157–163. <https://doi.org/10.33549/physiolres.934957>.
6. Wentao B. et al. Evaluation of alcohol-based deep eutectic solvent in extraction and determination of flavonoids with response surface methodology optimization // Journal of Chromatography A. 2013. Vol. 1285. Pp. 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2013.02.041>.
7. Bouchard J., Valookaran A.F., Aloud B.M., Raj P., Malunga L.N., Thandapilly S.J., Netticadan T. Impact of oats in the prevention/management of hypertension // Food Chem. 2022. Vol. 381. 132198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132198>.
8. Bouchard J. et al. Impact of oats in the prevention/management of hypertension // Food Chemistry. 2022. Vol. 381. 132198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132198>.
9. Newby P. et al. Food patterns measured by factor analysis and anthropometric changes in adults // American Journal of Clinical Nutrition. 2004. Vol. 80, no. 2. Pp. 504–513. <https://doi.org/10.1093/ajcn/80.2.504>.
10. Guo H., Wu H., Hou Y., Hu P., Du J., Cao L., Yang R., Dong X., Li Z. Oat β -D-glucan ameliorates type II diabetes through TLR4/PI3K/AKT mediated metabolic axis // Int. J. Biol. Macromol. 2023. Vol. 30. 126039. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126039>.
11. Gudej S., Filip R., Harasym J., Wilczak J., Dziendzikowska K., Oczkowski M., Jałosińska M., Juszczak M., Lange E., Gromadzka-Ostrowska J. Clinical outcomes after oat beta-glucans dietary treatment in gastritis patients // Nutrients. 2021. Vol. 13, no. 8. 2791. <https://doi.org/10.3390/nu13082791>.
12. Gupta M., Bajaj B.K. Development of fermented oat flour beverage as a potential probiotic vehicle // Food Bioscience. 2017. Vol. 20. Pp. 104–109. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.08.007>.
13. Cuervo A. et al. Pilot Study of diet and microbiota: interactive associations of fibers and polyphenols with human intestinal bacteria // J. Agric. Food Chem. 2014. Vol. 62, no. 23. Pp. 5330–5336. <https://doi.org/10.1021/jf501546a>.
14. Russo P., de Chiara M.L.V. Lactobacillus plantarum strains for multifunctional oat-based foods // LWT – Food Science and Technology. 2016. Vol. 68. Pp. 288–294. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.040>.

15. Ling C., Gangliang H. Antitumor activity of polysaccharides: an overview // *Current Drug Targets*. 2018. Vol. 19, no. 1. Pp. 89–96. <https://doi.org/10.2174/1389450118666170704143018>.
16. Chen S., Shang H., Yang J., Li R., Wu H. Effects of different extraction techniques on physicochemical properties and activities of polysaccharides from comfrey (*Symphytum officinale* L.) root // *Industrial Crops and Products*. 2018. Vol. 121, no. 1. Pp. 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.04.063>.
17. Bosiljkov T. et al. Natural deep eutectic solvents and ultrasound-assisted extraction: Green approaches for extraction of wine lees anthocyanins // *Food and Bioprocess Technology*. 2017. Vol. 102. Pp. 195–203. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.12.005>.
18. Cai C. et al. Green extraction of cannabidiol from industrial hemp (*Cannabis sativa* L.) using deep eutectic solvents coupled with further enrichment and recovery by macroporous resin // *Journal of Molecular Liquids*. 2019. Vol. 287. 110957. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.110957>.
19. Chen L. et al. The antiviral activity of polysaccharides and their derivatives // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018. Vol. 115. Pp. 77–82. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.04.056>.
20. Feng S. et al. Green extraction of polysaccharides from *Camellia oleifera* fruit shell using tailor-made deep eutectic solvents // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2023. Vol. 253. 127286. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127286>.
21. Shah P.A. et al. Exploring the potential of deep eutectic solvents in pharmaceuticals: Challenges and opportunities // *Journal of Molecular Liquids*. 2023. Vol. 390B. 123171. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2023.123171>.
22. Zhang L., Koyyalamudi S.R. et al. Antioxidant and immunomodulatory activities of polysaccharides from the roots of *Sanguisorba officinalis* // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2012. Vol. 51, no. 5. Pp. 1057–1062. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2012.08.019>.
23. Min H. Advancing green extraction of bioactive compounds using deep eutectic solvent-based ultrasound-assisted matrix solid-phase dispersion: Application to UHPLC-PAD analysis of alkaloids and organic acids in *Coptidis rhizome* // *Talanta*. 2024. Vol. 2741. 125983. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2024.125983>.
24. Wei L. Research Progress on the Application of Low Eutectic Solvents in Extraction of Plant Polysaccharides // *Science and Technology of Food Industry*. 2023. Vol. 44, no. 24. Pp. 1–11. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023060084>.
25. Baliyan S. Determination of antioxidants by DPPH radical scavenging activity and quantitative phytochemical analysis of *Ficus religiosa* // *Molecules*. 2022. Vol. 27, no. 4. 1326. <https://doi.org/10.3390/molecules27041326>.
26. Shamsa F. et al. Spectrophotometric determination of total alkaloids in some Iranian medicinal plants // *Thai. J. Pharm. Sci.* 2008. Vol. 32. Pp. 17–20.
27. Sohch P. et al. Spectrophotometric determination of cardiac glycosides by flow-injection analysis // *Analytica Chimica Acta*. 1992. Vol. 269. Pp. 199–203.

Поступила в редакцию 12 сентября 2024 г.

После переработки 29 октября 2024 г.

Принята к публикации 28 ноября 2024 г.

Bochko T.N.^{1*}, Ogrenich N.A.², Malyshko M.A.³, Shishov A.Y.¹ PHYTOCHEMISTRY OF MILK RIPENESS OAT GRASS

¹ Saint Petersburg State University, Universitetskaya nab., 7-9, Saint Petersburg, 199034, Russia, tatiana-susliako@mail.ru

² Healthcare Institution "Baranovichi Maternity Hospital", Gagarina st., 10, Baranovichi, 225320, Republic of Belarus

³ Healthcare Institution "16th City Clinical Polyclinic", Shchedrina st., 83, Minsk, 220053, Republic of Belarus

Oat *Avena sativa* L. is a widespread cereal plant containing polysaccharides, polyphenols, proteins and saturated fatty acids. Polysaccharides are biologically active substances characterized by expectorant, anti-inflammatory, immunotropic, enterosorbent, hepatoprotective, antioxidant and restorative effects. The extraction of polysaccharides from oat is usually carried out with hot water, ultrasonic radiation, fermentation and deep eutectic solvents. The paper develops and describes a new technique for the aqueous extraction of polysaccharides from the oat plant of milk ripeness. The essence of this method: extraction with cold water from the oat plant in the stage of milk ripeness for 12 hours at room temperature, then boiling the resulting extract together with the herb for 1 minute, infusing for 30 minutes. Then the extract was filtered and used in the work. The analysis of the influence of time and temperature on the quantitative content of polysaccharides from milk ripeness oat with this method of preparing an aqueous extract was carried out. In addition to polysaccharides, phytochemical screening of the aqueous extract of oat grass of milk ripeness for the total content of alkaloids, tannins, glycosides, polyphenols, flavonoids was carried out, and its antioxidant activity was determined. A comparative analysis of different methods of preparing aqueous extracts from milk ripeness oat grass has been done.

Keywords: milk ripeness oat grass, polysaccharides, phytochemical screening, extraction, chromatography.

For citing: Bochko T.N., Ogrenich N.A., Malyshko M.A., Shishov A.Y. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2025, no. 2, pp. 260–268. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250215794>.

* Corresponding author.

References

1. Kakhramanova S.D., Bokov D.O., Samylina I.A. *Farmatsiya*, 2020, vol. 69, no. 8, pp. 5–12. <https://doi.org/10.29296/25419218-2020-08-01>. (in Russ.).
2. Paudel D., Dhungana B., Caffè M., Krishnan P. *Foods*, 2021, vol. 10, 2591. <https://doi.org/10.3390/foods10112591>.
3. Bichet D.G. *Journal Clin. Invest.*, 1993, vol. 92, no. 3, pp 1262–1268. <https://doi.org/10.1172/JCI116698>.
4. Amerizadeh A. et al. *Curr. Probl. Cardiol.*, 2023, vol. 48, no. 7, 101153. <https://doi.org/10.1016/j.cpcardiol.2022.101153>.
5. Sirotkin A.V. *Physiol. Res.*, 2023, vol. 72, pp. 157–163. <https://doi.org/10.33549/physiolres.934957>.
6. Wentao B. et al. *Journal of Chromatography A*, 2013, vol. 1285, pp. 22–30. <https://doi.org/10.1016/j.chroma.2013.02.041>.
7. Bouchard J., Valookaran A.F., Aloud B.M., Raj P., Malunga L.N., Thandapilly S.J., Netticadan T. *Food Chem.*, 2022, vol. 381, 132198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132198>.
8. Bouchard J. et al. *Food Chemistry*, 2022, vol. 381, 132198. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.132198>.
9. Newby P. et al. *American Journal of Clinical Nutrition*, 2004, vol. 80, no. 2, pp. 504–513. <https://doi.org/10.1093/ajcn/80.2.504>.
10. Guo H., Wu H., Hou Y., Hu P., Du J., Cao L., Yang R., Dong X., Li Z. *Int. J. Biol. Macromol.*, 2023, vol. 30, 126039. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.126039>.
11. Gudej S., Filip R., Harasym J., Wilczak J., Dziendzikowska K., Oczkowski M., Jałosińska M., Juszcak M., Lange E., Gromadzka-Ostrowska J. *Nutrients*, 2021, vol. 13, no. 8, 2791. <https://doi.org/10.3390/nu13082791>.
12. Gupta M., Bajaj B.K. *Food Bioscience*, 2017, vol. 20, pp. 104–109. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2017.08.007>.
13. Cuervo A. et al. *J. Agric. Food Chem.*, 2014, vol. 62, no. 23, pp. 5330–5336. <https://doi.org/10.1021/jf501546a>.
14. Russo P., de Chiara M.L.V. *LWT – Food Science and Technology*, 2016, vol. 68, pp. 288–294. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2015.12.040>.
15. Ling C., Gangliang H. *Current Drug Targets*, 2018, vol. 19, no. 1, pp. 89–96. <https://doi.org/10.2174/1389450118666170704143018>.
16. Chen S., Shang H., Yang J., Li R., Wu H. *Crops and Products*, 2018, vol. 121, no. 1, pp. 18–25. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2018.04.063>.
17. Bosiljkov T. et al. *Food and Bioproducts Processing*, 2017, vol. 102, pp. 195–203. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2016.12.005>.
18. Cai C. et al. *Journal of Molecular Liquids*, 2019, vol. 287, 110957. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2019.110957>.
19. Chen L. et al. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, vol. 115, pp. 77–82. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.04.056>.
20. Feng S. et al. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2023, vol. 253, 127286. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127286>.
21. Shah P.A. et al. *Journal of Molecular Liquids*, 2023, vol. 390B, 123171. <https://doi.org/10.1016/j.molliq.2023.123171>.
22. Zhang L., Koyyalamudi S.R. et al. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2012, vol. 51, no. 5, pp. 1057–1062. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2012.08.019>.
23. Min H. *Talanta*, 2024, vol. 2741, 125983. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2024.125983>.
24. Wei L. *Science and Technology of Food Industry*, 2023, vol. 44, no. 24, pp. 1–11. <https://doi.org/10.13386/j.issn1002-0306.2023060084>.
25. Baliyan S. *Molecules*, 2022, vol. 27, no. 4, 1326. <https://doi.org/10.3390/molecules27041326>.
26. Shamsa F. et al. *Thai. J. Pharm. Sci.*, 2008, vol. 32, pp. 17–20.
27. Sohch P. et al. *Analytica Chimica Acta*, 1992, vol. 269, pp. 199–203.

Received September 12, 2024

Revised October 29, 2024

Accepted November 28, 2024

Сведения об авторах

Бочко Татьяна Николаевна – кандидат химических наук, доцент, старший преподаватель кафедры аналитической химии, tatiana-susliako@mail.ru

Огренич Николай Антонович – врач УЗИ, fitomedogrenich@tut.by

Малышко Мария Андреевна – врач эндокринолог, doc-malyshko@yandex.ru

Шишов Андрей Юрьевич – кандидат химических наук, профессор кафедры аналитической химии, andrey.shishov.eus@gmail.com

Information about authors

Bochko Tatyana Nikolaevna – candidate of chemical sciences, associate professor, senior lecturer of the department of analytical chemistry, tatiana-susliako@mail.ru

Ogrenich Nikolay Antonovich – ultrasound doctor, fitomedogrenich@tut.by

Malyshko Maria Andreevna – endocrinologist, doc-malyshko@yandex.ru

Shishov Andrey Yuryevich – candidate of chemical sciences, professor of the department of analytical chemistry, andrey.shishov.eus@gmail.com