

УДК 544.234.6:678.742.2:678.046.5/.6

АНТИОКСИЛИТЕЛЬНЫЕ СВОЙСТВА ЭКСТРАКТОВ ТРУТОВИКА ОКАЙМЛЕННОГО *FOMITOPSIS PINICOLA* В СОСТАВЕ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ПЛЕНОК

© *Е.В. Воробьева*

*Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, ул. Советская,
104, Гомель, 246028 (Республика Беларусь), e-mail: evorobyova@gsu.by*

По данным научной литературы, таллом трутовика окаймленного *Fomitopsis pinicola* достаточно богат вторичными метаболитами с выраженными антиокислительными свойствами. Однако по результатам проведенных экспериментов, этанольные экстракты *F. pinicola* по сравнению с экстрактами высших растений (например, чистотел большой *Chelidonium majus*) характеризовались низкими антиокислительными свойствами, как в составе полимера, так и по данным биохимического анализа. Индукционный период окисления полиэтиленовых пленок с экстрактами *F. pinicola* был в 3.25 раза ниже, чем индукционный период окисления аналогичных полимерных пленок с экстрактами *C. majus*. Предположено, что полученный результат является следствием локализации большинства фенольных соединений *F. pinicola* в составе меланинов. В составе этих пигментов фенольные соединения малоподвижны и не имеют возможности диффундировать в расплаве полимера, кроме того, ряд реакционноспособных функциональных групп не проявляют своих антиокислительных свойств из-за пространственных затруднений.

В ходе исследований экспериментально определены условия экстракции (экстрагент, время), при которых получаемые экстракты *F. pinicola* показывают высокие антиокислительные свойства в составе полиэтиленовых пленок, значительно превышая антиокислительные свойства экстрактов *C. majus*. Показано, что для получения высокоэффективных антиокислительных экстрактов *F. pinicola* для стабилизации полимера наиболее рационально использование ацетона в качестве экстрагента, рекомендованное время экстракции не менее 5 суток.

Ключевые слова: антиокислительные свойства, полиэтилен, термоокисление, индукционный период окисления, экстракция, растворитель, время экстракции, трутовик окаймленный *Fomitopsis pinicola*, ацетон, этанол, этилацетат.

Работа выполнена в рамках ГПНИ «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия», подпрограмма «Лесохимия-2», задание 2.4.01.04.

Введение

Интерес к трутовым грибам (чага, трутовик окаймленный, трутовик плоский и др.) постоянно высок, так как их экстракты проявляют эффективность в терапии желудочно-кишечных, сердечно-сосудистых и онкологических заболеваний различного происхождения [1–3]. Трутовые грибы продуцируют большой спектр органических соединений, обладающих биологической активностью [4]: антиокислительной, иммуномодулирующей, радио- и фотопротекторной и др. Отвары, экстракты и собственно плодовые тела трутовых грибов широко применяются в народной медицине, но в традиционной медицине используется только чага. Однако в природных условиях чага встречается реже, чем трутовик окаймленный *Fomitopsis pinicola* (*F. pinicola*), при этом содержание и состав их метаболитов достаточно схожи. В работе [5] показано, что хромогенные комплексы трутовика окаймленного представлены частицами, сопоставимыми по виду и размерам с хромогенными комплексами чаги, оба отнесены к меланинам. Название «хромогенные комплексы» связано с наличием окраски, хромогенные комплексы *F. pinicola* окрашены в темно-коричневый цвет.

Состав плодового тела *F. pinicola* детально проанализирован в работах [6, 7]. В плодовом теле гриба больше всего содержится клетчатки – 43.3%, количество остальных углеводов – 26.3%, белка – 12.8%, влаги

Воробьева Елена Валерьевна – кандидат химических наук, доцент, доцент кафедры химии,
e-mail: evorobyova@gsu.by

– 12.6%, жиров – 3.3%; обнаружено 18 аминокислот, среди них наибольшее содержание глутамата 457 мг/100 г (сухой массы), затем следовали арги-

нин, глицин, валин, аспаргат и изолейцин. Среди витаминов и витаминоподобных веществ обнаружены витамины группы В биотин (витамин Н) и витамин Е в количестве 276 мг/100 г (сухой массы). Содержание минералов: калия – 165.06 мг, фосфора – 77.57 мг, магния – 46.11 мг, железа – 21.56 мг, кальция – 16.90 мг на 100 г сухой массы грибов [6]. При этом научный и практический интерес представляют вторичные метаболиты трутовика окаймленного обладающие биологической активностью, к ним в первую очередь относят терпеноиды [8], цереброзиды [9] и пигменты [10], которые относят к меланинам. Современные исследования грибов рода *Fomitopsis* выявили в составе вторичных метаболитов хлорированные кумарины, стероиды, фенолы, поликетиды [11].

Фенольные соединения, по мнению большинства исследователей, являются основными веществами, обуславливающими антиокислительные свойства плодового тела или экстракта гриба, они входят в состав пигментов меланинов. В работе [12] приведены современные данные о физических и химических свойствах самого распространенного меланина – эумеланина. По мнению ученых пигмент представляет собой гетерогенную макромолекулу из мономерных звеньев 5,6-дигидроксииндола и его 2-карбоксилированной формы (5,6-дигидроксииндол-2-карбоновой кислоты). В последних исследованиях пигмент рассматривают, как многослойный олигомер [12].

На поверхности меланинов содержится большое количество полярных групп, в среднем их количество: 6.50% – карбонильных; 5.81% – метоксильных; 4.5% – карбоксильных [5, 13]. За счет комплексообразования и содержания большого количества неспаренных электронов в меланинах могут содержаться минеральные компоненты, в том числе и ионы металлов. В работах [14, 15] приведены данные по накоплению тяжелых металлов в составе плодового тела трутовых грибов. В водных экстрактах, полученных в мягких условиях, зафиксированы щавелевая и уксусная кислота и только некоторые фенольные соединения [16]. Гидролиз, проводимый в жестких условиях с использованием щелочей, позволяет извлечь большое количество меланинов с высокой антиокислительной или антиоксидантной активностью. В [16] авторы показали, что увеличение содержания меланинов в анализируемых пробах и возрастание содержания в нем аморфной части приводят к повышению антиоксидантных характеристик экстрактов. Значит состояние меланинов, точнее плотность их «упаковки», прямым образом влияет на проявление антиокислительных свойств анализируемого субстрата.

В основном биологически активные вещества из трутовых грибов получают методом экстракции, применяя всевозможные методические приемы, позволяющие увеличить выход извлекаемых веществ. Например, из литературы известен способ получения терпеноидов *F. pinicola* экстракцией этанолом [8, 17], стероидные соединения из этого гриба извлекали, используя *n*-гексан и метанол [18], реэкстракцию органическими растворителями из водного извлечения провели в [19].

Обычно органические растворители извлекают биологически активные компоненты в больших количествах, чем вода. Органические экстракты имеют более высокие показатели антиокислительных свойств. Так, например, в экспериментах с раковыми клетками [14] использование этанольного экстракта *F. Pinicola* оказалось в 3 раза эффективнее, чем использование экстрактов, полученных с использованием горячей воды. Как исключение, в работе [15] указывается, что в проведенных исследованиях общее содержание фенолов в водной вытяжке оказалось на 20.06% выше, чем в метанольном экстракте, однако сами авторы отмечают, что их результат отличается от большинства опубликованных исследований.

Выраженные антиокислительные свойства органических экстрактов трутовых грибов по сравнению с водными объясняется ограниченной растворимостью фенольных и терпеновых соединений в воде и хорошей растворимостью в органических слабополярных растворителях. Детальное и многосторонне изучение водных экстрактов, широко представленное в научной литературе, объяснимо с точки зрения безопасности растворителя по отношению к человеку и потенциальной возможности использования водных экстрактов или собственно извлечений в качестве БАД.

В последние десятилетия в связи с большими объемами потребляемых полимерных материалов обострилась проблема применения синтетических антиоксидантов для полимеров, что связано токсичностью и летучестью этих соединений. В настоящее время идет поиск новых антиокислительных добавок для полимерных материалов, в том числе среди природных объектов [20–22]. В этом аспекте наиболее перспективны экстракты растительных объектов, характеризующиеся высоким антиокислительным статусом. Для полимерных материалов востребованы именно органические экстракты (спиртовые, эфирные и т.д.), кото-

рые хорошо совместимы с гидрофобным полимером (например, полиэтиленом) и летучи. Введение органических экстрактов в полимер и его последующее его термоокислительные испытания позволяют оценить антиокислительную активность экстрагируемого комплекса соединений.

Цель работы – изучить антиокислительные свойства экстрактов трутовика окаймленного *Fomitopsis pinicola*, определить условия (вид экстрагента, время экстракции) для получения экстрактов с максимальным проявлением антиокислительных свойств в составе полиэтиленовых пленок.

Объекты, материалы и методы исследований

В исследованиях использовали плодовое тело трутовика окаймленного *F. pinicola*, собранное в июне 2021 года на территории Добрушского лесничества ГЛХУ «Гомельский лесхоз». Отобранный материал предварительно высушивали в термощкафах при температуре 30 °С до постоянного веса, измельчали на лабораторной режущей мельнице VLM-6 (28000 об./мин) (рис. 1).

Измельченный материал помещали в бюксы, добавляли растворители в объемных соотношениях 1 : 1.5 (1 : 10 масс./объем, г/мл). В качестве органических растворителей использовали этиловый спирт (ГОСТ 5962-2013), ацетон (ГОСТ 2603-79, чда) и этиловый эфир уксусной кислоты (этилацетат, ГОСТ 22300-76, чда). После добавления растворителя смесь тщательно перемешивали и плотно закрывали пробками. Биологически активные вещества извлекались из гриба методом мацерации. Время экстракции в экспериментах составляла от 48 до 600 ч.

Полученные экстракты фильтровали (фильтровальная бумага, ГОСТ 12026-76, синяя лента). К 500 мг порошкообразного ПЭНД (ГОСТ 16338-85, марка 20308-05) добавлялся экстракт, полученный из 500 мг измельченного плодового тела *F. pinicola*. Полученные суспензии перемешивали на магнитной мешалке (3 мин) и высушивали на воздухе при комнатной температуре. После испарения растворителя сухие полимерные смеси прессовали, получали пленки толщиной 100 мкм. Контроль толщины проводили с помощью микрометра. Режим прессования: температура 150 °С, время выдержки в прессе 30–90 секунд. Получаемые образцы пленок наплавливали на кристаллы KBr, материал прозрачный в ИК-области спектра, и проводили термоокисление полимерных пленок в термощкафах при температуре 150 °С.

Степень окисления полимерных образцов определяли методом ИК-спектроскопии, спектры снимали на Фурье-спектрофотометре Vertex 70 (фирма «Brüker», Германия). Степень окисления образцов определяли по оптической плотности полосы 1720 см⁻¹, относящуюся к валентным колебаниям карбонильных групп, в качестве внутреннего стандарта использовали полосу поглощения 1465 см⁻¹, относящуюся к деформационным колебаниям СН₃-групп (D_{1720/1465}).

*a**б**в*

Рис 1. Внешний вид трутовика окаймленного (*a*, *б*) и измельченный таллом гриба (*в*), измельчение 3 мин на лабораторной мельнице VLM-6

Антиокислительные свойства экстрактов оценивали по продолжительности индукционного периода окисления (ИПО) экспериментальных полимерных образцов. ИПО – промежуток времени (ч) от начала термоиспытаний до стадии активного накопления карбонильных групп в полимерном образце. В течение ИПО показатель $D_{1720/1465}$ в ИК-спектрах образцов изменялся от стартовых значений на 0.04–0.05 ед. Стартовые (начальные) значения оптической плотности полосы 1720 см^{-1} отличны от нуля, т.к. содержащиеся биологически активные вещества, внесенные в пленку в составе экстракта, как правило, имеют в химической структуре карбоксильные группы.

В получаемых экстрактах после испарения растворителя определяли массу извлекаемых веществ – сухой остаток. Гравиметрический анализ проводили в четырех повторностях на аналитических весах ВЛ 220 М (дискретность 0.00001/0.0001 г).

Количественное определение флавоноидов и рутина в спиртовых экстрактах проводили методом спектрофотометрии. Обе методики основаны на образовании комплексов с хлоридом алюминия, методика определения флавоноидов подробно изложена в [23], методика определения рутина – в работе [24]. Измерение оптической плотности проводили на спектрофотометре PV 1251 С в кювете с толщиной слоя 10 мм.

Результаты работы и их обсуждение

При введении измельченного плодового тела *F. pinicola* в состав полимерной пленки термоокислительная стойкость полимера практически не изменилась – кривые накопления карбонильных групп для наполненных полиэтиленовых пленок, содержащих 10% масс. измельченного плодового тела, и для немодифицированных пленок почти совпадают (рис. 2, кривые 1, 2). При введении спиртовых экстрактов *F. pinicola* (время экстракции 48 ч) в полиэтилен их антиокислительное влияние на процесс окисления полимера более заметен: ИПО экспериментальных пленок составил 4 ч (рис. 2 кривая 3). Однако антиокислительная стойкость экспериментальных пленок полимера с экстрактами высших растений, полученными по аналогичной методике, была в несколько раз большей. Так, например, экспериментальные пленки, содержащие экстракты чистотела большого *Chelidonium majus*, были устойчивы к термоокислению в течение 13 ч (рис. 2, кривая 4). То есть антиокислительное действие экстрактов *F. pinicola* и *C. majus* в составе пленок различались в 3.25 раза.

Результаты биохимического анализа спиртовых экстрактов трутовика окаймленного и чистотела большого (время экстракции 48 ч) представлены в таблице 1. Как мы видим, суммарное содержание флавоноидов и собственно рутина в спиртовых экстрактах гриба примерно в 3 раза меньше, чем в аналогичных экстрактах высшего растения. Полученные данные сопоставимы с результатами антиокислительных свойств экстрактов в составе полиэтиленовых пленок.

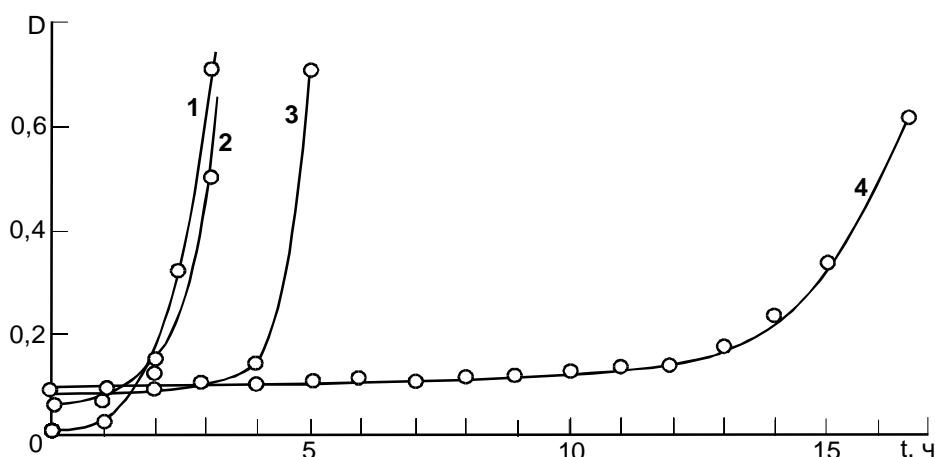


Рис. 2. Кинетика изменения оптической плотности полосы поглощения в области 1720 см^{-1} ($D_{1720/1465}$) в ИК-спектрах образцов экспериментальных полиэтиленовых пленок толщиной 100 мкм при их термоокислении (150 °C). Экспериментальные пленки содержат 10% масс. измельченного плодового тела *F. pinicola* (кривая 2); спиртовые экстракты плодового тела *F. pinicola* (кривая 3); экстракты *C. majus* (кривая 4); время экстракции – 48 ч (кривые 3, 4). Кривая 1 – полиэтиленовая пленка без добавок

Таблица 1. Результаты биохимического анализа этанольных экстрактов

Экстракт	Показатель			
	Рутин, мг/мл		Суммарное содержание флавоноидов, мг/мл	
	интервал значений	среднее значение	интервал значений	среднее значение
Трутовик окаймленный <i>Fomitopsis pinicola</i>	0.199–0.203	0.201	16.5–16.9	16.7
Чистотел большой <i>Chelidonium majus</i>	0.589–0.601	0.593	46.5–50.9	49.3

Однако, по данным научной литературы, антиокислительные свойства трутовых грибов достаточно высоки. Вероятно, низкие показатели антиокислительных свойств экстрактов являются следствием малоэффективной экстракции антиокислительных веществ в выбранный растворитель или их «неактивное» состояние в экстракте, обусловленное особенностями структуры меланинов. В составе меланина фенольные и другие функциональные группы БАВ испытывают стерические и пространственные затруднения, что ограничивает их участие в химических реакциях: как антиокислительных, так и аналитических.

Увеличение время экстракции обычно способствует более глубокому разрушению меланинов и вымыванию небольших фрагментов или отдельных молекул в жидкую фазу. Проведены эксперименты, в которых время экстракции БАВ из измельченного плодового тела *F. pinicola* составляли 120, 240 и 600 ч (5, 10 и 25 сут), при этом применены три разных растворителя: этиловый спирт, ацетон, этилацетат. По результатам исследования увеличение массы экстрагируемых веществ в растворителях заметно возросло при увеличении времени экстракции до 120 ч. Дальнейшее увеличение времени экстракции существенно не изменяет массового количества извлекаемых веществ (табл. 2).

Полученные экстракты были введены в полиэтилен, затем сформированные пленки подвергнуты термоиспытаниям, результаты которых представлены на рисунке 3. Как мы видим, увеличение времени экстракции с 48 до 120 ч привело к увеличению антиокислительных свойств получаемых спиртовых экстрактов в составе полимерной пленки – ИПО увеличился с 4 до 12 ч (рис. 2, кривая 3; рис. 3, кривая 3). Дальнейшее увеличение времени экстракции этанолом привело к некоторому снижению количества экстрагируемых веществ на 0.3% (табл. 2), что объясняется более полным растворением отдельных молекул из фрагментов меланинов, диффундировавших в растворитель, а также их деструкцией. Для 600-часовых экстрактов в составе полиэтиленовых пленок наблюдается небольшое снижение антиокислительных свойств (рис. 3, кривая 6).

Важным и практически значимым результатом является увеличение антиокислительных свойств экстрактов *F. pinicola* при замене экстрагента этилового спирта на этилацетат (рис. 3, кривые 2, 5) или ацетон (рис. 3, кривые 1, 4). Количество экстрагируемых веществ каждым растворителем находится в прямой зависимости с изменением антиокислительных свойств в составе полимерных пленок, выраженном в продолжительности ИПО. Увеличение сухого остатка извлекаемых веществ на 0.2% при увеличении времени экстракции этилацетатом с 120 до 600 ч (табл. 2), сопровождается ростом продолжительности ИПО пленок, содержащих соответствующие экстракты примерно на 5 ч (рис. 3, кривые 2, 5). В случае использования ацетона массовая доля извлекаемых веществ уменьшилась с 1.8% (120 ч) до 1.6% (600 ч), ИПО пленок с этими экстрактами составил 65 и 60 ч, соответственно, т.е. уменьшился на 5 ч (рис. 3, кривые 1, 4).

Как мы видим, количество экстрагируемых веществ является важным фактором, который определяет степень проявления антиокислительных свойств экстракта. Однако влияние этого фактора допустимо рассматривать только для одного выбранного растворителя. При сравнении нескольких растворителей этот подход будет не верен. Так, например, количества извлекаемых веществ в течение 600 ч экстракции с помощью ацетона, этанола, этилацетата достаточно близки: 1.6; 1.4; 1.8% (табл. 2), но полиэтиленовые пленки, содержащие эти экстракты, имеют совершенно разные значения ИПО: 60 ч; 8 ч; 35 ч (рис. 3, кривые 4–6). Совершенно очевидно, что это связано с разным качественным составом извлекаемых БАВ при использовании разных экстрагентов.

Данные эксперимента показали, что ацетон в качестве экстрагента извлекает вещества с наибольшим антиокислительным эффектом (рис. 3, кривые 1, 4). При использовании этилового спирта извлекаются вещества с менее выраженным антиокислительным действием или вещества, склонные к самоокислению и деструкции. Например, флаван-3-олы, флаван-3,4-диолы и антоцианидины – нестойкие вещества, легко

окисляющиеся при нагревании. Можно предположить, что преимущественно подобные соединения с гидроксильными группами извлекаются этанолом и обуславливают низкую антиокислительную стойкость полиэтилена при термоиспытаниях.

При изучении ИК-спектров полиэтиленовых пленок, содержащих экстракты трех разных растворителей, отмечены различия в областях 1750–1700 и 1620–1580 см^{-1} (рис. 4). В спектрах пленок с ацетоновыми экстрактами более выражены полосы 1730 и 1738 см^{-1} , относящаяся к валентным колебаниям карбонильной группы в составе сложноэфирной группы, находящейся в сопряжении: α, β -ненасыщенные или ароматические сложные эфиры [25]. В спектре пленки с ацетоновым экстрактом также больше выражена полоса 1600 см^{-1} , характерная для колебаний сопряженной $\text{C}=\text{C}$ связи [25]. Значит при использовании ацетона в качестве экстрагента для *F. pinicola* извлекаются вещества с большим количеством сложноэфирных групп и сопряженных фрагментов в молекулах.

Для сравнения приведем данные антиокислительных свойств экстрактов чистотела *C. majus* в составе полимера: ИПО полиэтиленовых пленок, содержащих 120-часовой экстракт чистотела, составил 34 ч (экстрагенты: этанол, этилацетат) и 38 ч (экстрагент: ацетон). ИПО полиэтиленовых пленок, содержащих 120-часовые ацетоновые экстракты *F. pinicola* составляли 65 ч (рис. 3, кривая 1). Таким образом, при условии рационального выбора растворителя-экстрагента и времени экстракции антиокислительные свойства экстрактов трютовика *F. pinicola* могут превышать антиокислительные свойства экстрактов высших растений.

Таблица 2. Содержание в экстракте (С) и массовая доля (ω , от сухого вещества) экстрагируемых веществ трютовика окаймленного (*F. pinicola*)

Экстрагент	Время экстракции							
	48 ч		120 ч		240 ч		600 ч	
	С, мг/мл	ω , %	С, мг/мл	ω , %	С, мг/мл	ω , %	С, мг/мл	ω , %
Ацетон	6.5	1.3	9.0	1.8	8.0	1.6	8.0	1.6
Этанол	1.5	0.3	8.5	1.7	8.0	1.6	7.2	1.4
Этилацетат	7.5	1.5	8.0	1.6	9.0	1.8	9.0	1.8

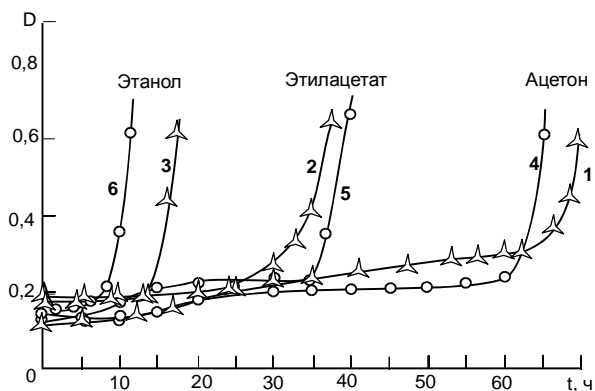


Рис. 3. Кинетика изменения оптической плотности полосы поглощения в области 1720 см^{-1} ($D_{1720/1465}$) в ИК-спектрах образцов экспериментальных полиэтиленовых пленок толщиной 100 мкм при их термоокислении (150 °С). Экспериментальные пленки содержат ацетоновые (кривые 1, 4); этилацетатные (кривые 2, 5); этанольные (кривые 3, 6) экстракты плодового тела *F. pinicola*; время экстракции – 120 ч (кривые 1–3); 600 ч (кривые 4–6)

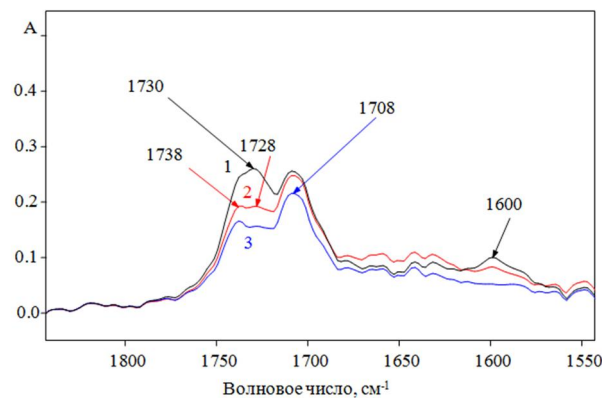


Рис. 4. ИК-спектры в области 2000–1550 см^{-1} полиэтиленовых пленок, содержащих экстракты *F. pinicola* полученные при использовании: ацетона (1); этилацетата (2), этанола (3). Экстракция проведена в течение 600 ч

Выводы

1. Установлено, что 48-часовая экстракция этиловым спиртом биологически активных веществ *F. pinicola* приводит к получению экстракта, который содержит мало антиокислительных веществ и проявляет

очень слабые антиокислительные свойства в составе полиэтиленовых пленок. В этанольных экстрактах *F. pinicola* суммарное содержание флавоноидов и рутина (фотометрический метод) примерно в 3 раза меньше, чем для этанольного экстракта высшего растения чистотел большой *Chelidonium majus*. Антиокислительное действие экстрактов *F. pinicola* и *C. majus* в составе пленок также различались 3.25 раза. Полученный результат обусловлен сложностью организации антиокислительных фенольных соединений *F. pinicola* в составе меланинов и трудностями в извлечении этих веществ в растворитель-экстрагент.

2. Установлено, что для получения экстрактов *F. pinicola*, отличающихся высокой антиокислительной способностью, необходимо использовать в качестве экстрагентов ацетон или этилацетат, рекомендованное время экстракции не менее 120 ч. Самые высокие антиокислительные свойства показали ацетоновые экстракты *F. pinicola*: индукционный период окисления полиэтиленовых пленок, содержащих эти экстракты, составлял 60–65 ч. Использование этанола в качестве экстрагента является наименее эффективным, пленки содержащие этанольные экстракты характеризуются индукционными периодами продолжительностью около 10 ч, даже при 600 ч экстракции.

Список литературы

1. Костромина Е.О., Чхенкели В.А. Перспективы использования препаратов на основе грибов-ксилотрофов в онкологии // Современные проблемы и перспективы развития АПК. 2014. С. 43–48.
2. Payamnoor V., Kavosi M.R., Nazari J. Polypore fungi of Caucasian alder as a source of antioxidant and antitumor agents // Journal of Forestry Research. 2020. Vol. 31. N4. Pp. 1381–1390. DOI:10.1007/s11676-019-00892-2.
3. Bishop K.S. Characterisation of Extracts and Anti-Cancer Activities of Fomitopsis pinicola // Nutrients. 2020. Vol. 12. N3. P. 609. DOI: 10.3390/nu12030609.
4. Grienke U. et al. European medicinal polypores – A modern view on traditional uses // Journal of Ethnopharmacology. 2014. Vol. 154. N3. Pp. 564–583.
5. Носов А.И., Сысоева М.А., Гревцев В.А., Халитов Ф.Г. Исследование физико-химических свойств хромогенных комплексов трутовиков плоского и окаймленного // Химия растительного сырья. 2013. №3. С. 195–200.
6. Ding J.L., Shin H.J., Cha W.S. Analysis of Amino Acids, Vitamins and Minerals of Fruiting Body of Fomitopsis pinicola // Journal of Life Science. 2006. Vol. 16. N7. Pp. 1123–1126. DOI: 10.5352/JLS.2006.16.7.1123.
7. Zahid M.T. et al. Review of chemical constituents and pharmacology of brown-rot fungus Fomitopsis pinicola // Journal of Natural Sciences Research. 2020. Vol. 10. N2. Pp. 58–68.
8. Yoshikawa K., Inoue M., Matsumoto Y., Sakakibara C., Miyatake H., Matsumoto H., Arihara S. Lanostane triterpenoids and triterpene glycosides from the fruit body of Fomitopsis pinicola and their inhibitory activity against COX-1 and COX-2 // Journal of natural products. 2005. Vol. 68. Pp. 69–73.
9. Striegler S., Haslinger E. Cerebrosides from Fomitopsis pinicola // Monatshefte für Chemie chemical monthly. 1996. Vol. 127. Pp. 755–761.
10. Федотов О.В., Велигодская А.К. Поиск продуцентов полифенолов и некоторых пигментов среди базидиомицетов // Biotechnologia Acta. 2014. Т. 7. №1. С. 110–116.
11. Zhao J. et al. Lanostane-type C31 triterpenoid derivatives from the fruiting bodies of cultivated Fomitopsis palustris // Phytochemistry. 2018. Т. 152. С. 10–21. DOI: 10.1016/j.phytochem.2018.04.012.
12. Meredith P., Sarna T. The physical and chemical properties of eumelanin // Pigment cell research. 2006. Vol. 19. N6. Pp. 572–594. DOI: 10.1111/j.1600-0749.2006.00345.x.
13. Шиврина А.Н. Биологически активные вещества высших грибов. Л.: Наука, 1965. 199 с.
14. Choi D.B. et al. Effects of Fomitopsis pinicola extracts on antioxidant and antitumor activities // Biotechnology and Bioengineering. 2007. Vol. 12. N5. Pp. 516–524. DOI: 10.1007/BF02931349.
15. Angelini P. et al. Overview of the biological activities of a methanol extract from wild red belt conk, Fomitopsis pinicola (Agaricomycetes), fruiting bodies from Central Italy // International Journal of Medicinal Mushrooms. 2018. Vol. 20. N11. Pp. 1047–1063.
16. Сысоева М.А., Кузнецова О.Ю., Гамаюрова В.С., Суханов П.П., Зиятдинова Г.К., Будников Г.К. Структурная организация и свойства полифенолов чаги // Вестник Казанского технологического университета. 2004. №1. С. 244–250.
17. Tai S. H. et al. Bioassay-guided purification of sesquiterpenoids from the fruiting bodies of Fomitopsis pinicola and their anti-inflammatory activity // RSC advances. 2019. Vol. 9, no. 59. Pp. 34184–34195. DOI: 10.1039/c9ra05899k.
18. Rösecke J., König W.A. Steroids from the fungus Fomitopsis pinicola // Phytochemistry. 1999. Vol. 52. N8. Pp. 1621–1627. DOI: 10.1016/S0031-9422(99)00349-0.
19. Сысоева М.А., Хабибрахманова В.Р., Гамаюрова В.С., Кьямова Г.И. Разделение водных извлечений чаги с использованием этилацетата. IV. Состав веществ фенольной и терпеновой природы, отделяемых из водного извлечения чаги этилацетатом // Химия растительного сырья. 2009. №4. С. 117–122.
20. Воробьева Е.В., Приходько Е.Л. Использование экстракта кожуры лука для ингибирования процесса термоокисления полиэтилена // Химия растительного сырья. 2021. №1. С. 241–250. DOI: 10.14258/jcprm.2021018262.

21. Воробьева Е.В., Приходько Е.Л. Стабилизация полиэтилена природными наполнителями и их экстрактами // Химия растительного сырья. 2019. №2. С. 213–223.
22. Samper M.D. et al. The potential of flavonoids as natural antioxidants and UV light stabilizers for polypropylene // Journal of Applied Polymer Science. 2013. Vol. 129. N4. Pp. 1707–1716.
23. Мальцева Е.М., Егорова Н.О., Егорова И.Н. Количественное определение суммарного содержания флавоноидов в траве кровохлебки лекарственной // Вестник уральской медицинской академической науки. 2011. №3-1. С. 68–69.
24. Popova A.V. et al. The quantitative analysis of rutin in the roots of wild yams (*Dioscorea caucasica*) // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. Vol. 624. 012173. DOI: 10.1088/1755-1315/624/1/012173.
25. Тарасевич Б.Н. ИК спектры основных классов органических соединений. М., 2012. 55 с.

Поступила в редакцию 17 мая 2022 г.

После переработки 8 июня 2022 г.

Принята к публикации 20 декабря 2022 г.

Для цитирования: Воробьева Е.В. Антиокислительные свойства экстрактов трутовика окаймленного *Fomitopsis pinicola* в составе полиэтиленовых пленок // Химия растительного сырья. 2023. №2. С. 143–151. DOI: 10.14258/jcrpm.20230211375.

Vorobyova E.V. ANTIOXIDANT PROPERTIES OF THE *FOMITOPSIS PINICOLA* TRUNE EXTRACT IN THE COMPOSITION OF POLYETHYLENE FILMS

*F. Skorina Gomel State University, st. Sovetskaya, 104, Gomel, 246028 (the Republic of Belarus),
e-mail: evorobyova@gsu.by*

Scientific literature shows that the thallus of *Fomitopsis pinicola* is sufficiently rich in secondary metabolites with pronounced antioxidant properties. However, the experiments showed that ethanol extracts of *F. pinicola* compared with extracts of higher plants (for example, *Chelidonium majus*) were characterized by low antioxidant properties, both in the polymer composition and according to biochemical analysis. The induction period of oxidation of polyethylene films with extracts of *F. pinicola* was 3.25 times lower than the induction period of oxidation of similar polymer films with *C. majus* extracts. It is assumed that this result is a consequence of the presence of most phenolic compounds of *F. pinicola* within melanins. In the composition of these pigments, phenolic compounds are sedentary and cannot diffuse in the polymer melt. In addition, a number of reactive functional groups will not exhibit their antioxidant properties because of spatial difficulties.

Extraction conditions (extractant, time), under which the obtained *F. pinicola* extracts confirm high antioxidant properties in polyethylene films, significantly exceeding the antioxidant properties of *C. majus* extracts, were experimentally determined during the studies. It is shown that to obtain highly effective antioxidant *F. pinicola* extracts for polymer stabilization it is most rational to use acetone as an extractant. The recommended extraction time is at least 5 days.

Keywords: antioxidant properties, polyethylene, thermal oxidation, oxidation induction period, extraction, solvent, extraction time, *Fomitopsis pinicola*, acetone, ethanol, ethyl acetate.

References

1. Kostromina Ye.O., Chkhenkeli V.A. *Sovremennyye problemy i perspektivy razvitiya APK*, 2014, pp. 43–48. (in Russ.).
2. Payamnoor V., Kavosi M.R., Nazari J. *Journal of Forestry Research*, 2020, vol. 31, no. 4, pp. 1381–1390. DOI: 10.1007/s11676-019-00892-2.
3. Bishop K.S. *Nutrients*, 2020, vol. 12, no. 3, p. 609. DOI: 10.3390/nu12030609.
4. Grienke U. et al. *Journal of Ethnopharmacology*, 2014, vol. 154, no. 3, pp. 564–583.
5. Nosov A.I., Sysoyeva M.A., Grevtsev V.A., Khalitov F.G. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2013, no. 3, pp. 195–200. (in Russ.).
6. Ding J.L., Shin H.J., Cha W.S. *Journal of Life Science*, 2006, vol. 16, no. 7, pp. 1123–1126. DOI: 10.5352/JLS.2006.16.7.1123.
7. Zahid M.T. et al. *Journal of Natural Sciences Research*, 2020, vol. 10, no. 2, pp. 58–68.
8. Yoshikawa K., Inoue M., Matsumoto Y., Sakakibara C., Miyataka H., Matsumoto H., Arihara S. *Journal of natural products*, 2005, vol. 68, pp. 69–73.
9. Striegler S., Haslinger E. *Monatshefte fur chemie chemical monthly*, 1996, vol. 127, pp. 755–761.
10. Fedotov O.V., Veligodskaya A.K. *Biotechnologia Acta*, 2014, vol. 7, no. 1, pp. 110–116. (in Russ.).
11. Zhao J. et al. *Phytochemistry*, 2018, vol. 152, pp. 10–21. DOI: 10.1016/j.phytochem.2018.04.012.
12. Meredith P., Sarna T. *Pigment cell research*, 2006, vol. 19, no. 6, pp. 572–594. DOI: 10.1111/j.1600-0749.2006.00345.x.
13. Shivrina A.N. *Biologicheskii aktivnyye veshchestva vysshikh gribov*. [Biologically active substances of higher fungi]. Leningrad, 1965, 199 p. (in Russ.).
14. Choi D.B. et al. *Biotechnology and Bioprocess Engineering*, 2007, vol. 12, no. 5, pp. 516–524. DOI: 10.1007/BF02931349.
15. Angelini P. et al. *International Journal of Medicinal Mushrooms*, 2018, vol. 20, no. 11, pp. 1047–1063.
16. Sysoyeva M.A., Kuznetsova O.Yu., Gamayurova V.S., Sukhanov P.P., Ziyatdinova G.K., Budnikov G.K. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2004, no. 1, pp. 244–250. (in Russ.).
17. Tai S. H. et al. *RSC advances*, 2019, vol. 9, no. 59, pp. 34184–34195. DOI: 10.1039/c9ra05899k.
18. Rösecke J., König W.A. *Phytochemistry*, 1999, vol. 52, no. 8, pp. 1621–1627. DOI: 10.1016/S0031-9422(99)00349-0.
19. Sysoyeva M.A., Khabibrakhmanova V.R., Gamayurova V.S., Kyyamova G.I. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2009, no. 4, pp. 117–122. (in Russ.).
20. Vorobyova E.V., Prikhod'ko Ye.L. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2021, no. 1, pp. 241–250. DOI: 10.14258/jcprm.2021018262. (in Russ.).
21. Vorobyova E.V., Prikhod'ko Ye.L. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2019, no. 2, pp. 213–223. (in Russ.).
22. Samper M.D. et al. *Journal of Applied Polymer Science*, 2013, vol. 129, no. 4, pp. 1707–1716.
23. Mal'tseva Ye.M., Yegorova N.O., Yegorova I.N. *Vestnik ural'skoy meditsinskoy akademicheskoy nauki*, 2011, no. 3-1, pp. 68–69. (in Russ.).
24. Popova A.V. et al. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. IOP Publishing, 2021, vol. 624, 012173. DOI: 10.1088/1755-1315/624/1/012173.
25. Tarasevich B.N. *IK spektry osnovnykh klassov organicheskikh soyedineniy*. [IR spectra of the main classes of organic compounds]. Moscow, 2012, 55 p. (in Russ.).

Received May 17, 2022

Revised June 8, 2022

Accepted December 20, 2022

For citing: Vorobyova E.V. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2023, no. 2, pp. 143–151. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20230211375.

