

УДК 678.048:630*813.2:582.29
AGRIS F60

https://doi.org/10.33619/2414-2948/90/02

АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА ЭКСТРАКТОВ ИЗ ЛИШАЙНИКОВ

©Храмченкова О. М., канд. биол. наук, Гомельский государственный университет
им. Ф. Скорины, г. Гомель, Беларусь, hramchenkova@gsu.by

ANTIOXIDANT PROPERTIES OF LICHEN EXTRACTS

©Khranchankova V., Ph.D., F. Scorina Gomel State University,
Gomel, Belarus, hramchenkova@gsu.by

Аннотация. Изучали антиоксидантные свойства ацетоновых, метанольных и этанольных экстрактов из лишайников *Cladonia furcata*, *Cladonia rangiferina*, *Evernia mesomorpha*, *Hypogymnia tubulosa* и *Parmelia sulcata*. Использовали методы: оценка суммарного содержания флавоноидов, ферро-/феррицианидный, фосфомолибденовый, CUPRAC, ДФПГ, обесцвечивания β -каротина и железо-тиоцианатный. Большинство проанализированных экстрактов проявляли слабую и умеренную антиоксидантную активность. Для метанольных и этанольных экстрактов из *H. tubulosa* и *P. sulcata* установлена высокая активность в отношении радикалов линолевой кислоты, генерируемых в аналитической системе.

Abstract. The antioxidant properties of acetone, methanol, and ethanol extracts from the lichens *Cladonia furcata*, *Cladonia rangiferina*, *Evernia mesomorpha*, *Hypogymnia tubulosa*, and *Parmelia sulcata* were studied. The methods used were total flavonoids content determination, PFRAP, phosphomolybdenum assay, CUPRAC, DPPH, β -carotene bleaching assay, and lipid peroxidation by the thiocyanate method. Most of the analyzed extracts showed weak and moderate antioxidant activity. For methanolic and ethanolic extracts from *H. tubulosa* and *P. sulcata*, a high activity with respect to linoleic acid radicals generated in the analytical system was found.

Ключевые слова: лишайники, экстракты, антиоксидантные свойства, аналитические методы, флавоноиды, аскорбиновая кислота, токоферолы, спектрофотометрия.

Keywords: lichens, extracts, antioxidant properties, analytical methods, flavonoids, ascorbic acid, tocopherols, spectrophotometry.

Введение

Многообразие видов биологической активности лишайниковых веществ [1] актуализирует различного рода скрининговые исследования. Из более чем 25000 видов лишайников около одной-двух сотых исследовано на предмет физиолого-биохимических свойств содержащихся в них соединений. Представление о свойствах наборов веществ, присущих данному виду лишайников, дают исследования биологической активности экстрактов из них, особенно если для экстрагирования подобран адекватный растворитель.

Поиск натуральных антиоксидантов среди представителей различных царств живого

мира ведется довольно давно, так как многообразие сфер применения таких веществ стремительно растет, что отражается, например, в виде резкого увеличения количества научных публикаций на эту тему [2]. В последние несколько десятилетий интерес к антиоксидантным свойствам лишайников возрос, они изучаются как с точки зрения «есть — нет», так и в контексте развития системы знаний, выступающей в качестве теоретической базы для развития принципиально новых подходов противостояния патологическим состояниям, связанным с реализацией различного рода свободно-радикальных процессов в живых системах. Тем более, что так называемые лишайниковые вещества очень часто являются уникальными, и никакими другими организмами в природе не синтезируются. Такая уникальность не обязательно означает их высокую антиоксидантную активность, что хорошо иллюстрируется в обзорах, посвященных данной теме [3, 4].

Для оценки антиоксидантных свойств экстрактов из лишайников, как правило, применяются традиционные методики, суть которых сводится к трем основным подходам:

- 1) раствор экстракта взаимодействует со стабильным или активированным радикалом искусственного происхождения;
- 2) в экспериментальную систему вводятся соединения железа или меди, меняющие степень окисления при взаимодействии с экстрактом;
- 3) в системе генерируются свободные радикалы, вступающих в окислительно-восстановительные реакции с образованием детектируемых продуктов.

Последний подход, как правило, использует продукты не ферментативного окисления линолевой кислоты, что позволяет говорить о некоторых защитных свойствах экстрактов из лишайников (если они обнаружены) в отношении перекисного окисления липидов. Во всех случаях протекают реакции с образованием цветных продуктов, количество которых регистрируется при помощи спектрофотометра. Полученные результаты обычно сравнивают с таковыми для классических антиоксидантов: аскорбиновой кислоты, тролокса, рутина, α -токоферола и многих других. Результаты выражают в процентах ингибирования того или иного процесса, или эквивалента «стандартов» — веществ положительного контроля. Известен также подход, называемый ТЕАС (Trolox Equivalent Antioxidant Capacity) — способ количественного выражения антиоксидантных свойств образца в эквивалентах тролокса. Существует еще один способ оценки антиоксидантных свойств экстрактов из лишайников: определение содержания в них суммарного содержания фенольных соединений и/или флавоноидов. При этом постулируется, что многие фенольные соединения (и флавоноиды), извлеченные, чаще всего, из растений, являются признанными антиоксидантами. Отсюда следует, что их высокое содержание в лишайниках является мерой и гарантией антиоксидантной активности, по крайней мере, определяемой колориметрическими методами.

К сожалению, механизмы антиокислительных процессов в живых клетках не в полной мере расшифрованы, как и процессы антиоксидантного действия, хотя и природных, но все же привнесенных извне веществ. Поведение лишайников веществ в живых системах изучено довольно слабо, зато хорошо известна их цитотоксичность [4, 5], что весьма полезно, если речь идет о культурах опухолевых клеток, и является важным препятствием для дальнейшего применения в отношении стабильных клеточных популяций.

Методы оценки антиоксидантных свойств природных соединений (в том числе экстрактов из лишайников) несовершенны [6]. Поэтому общепринятой является методология определения антиоксидантных свойств одних и тех же субстанций несколькими методами.

Целью настоящего исследования была оценка антиоксидантных свойств трех видов

экстрактов из пяти видов лишайников, выполненная семью различными методами: определение суммарного количества флавоноидов; оценка общей антиоксидантной активности (ферро-/феррицианидный, фосфомолибденовый и медь-восстанавливающий) и выявление антирадикальной активности (ДФПГ-тест, железо-тиоцианатный и метод обесцвечивания β -каротина).

Материал и методы исследования

Для исследования были выбраны пять распространенных видов лишайников: *Cladonia furcata* (Huds.) Schrad.; *Cladonia rangiferina* (L.) F. N. Wigg.; *Evernia mesomorpha* Nyl.; *Hypogymnia tubulosa* (Schaer.) Nav. и *Parmelia sulcata* Taylor (Рисунок 1).

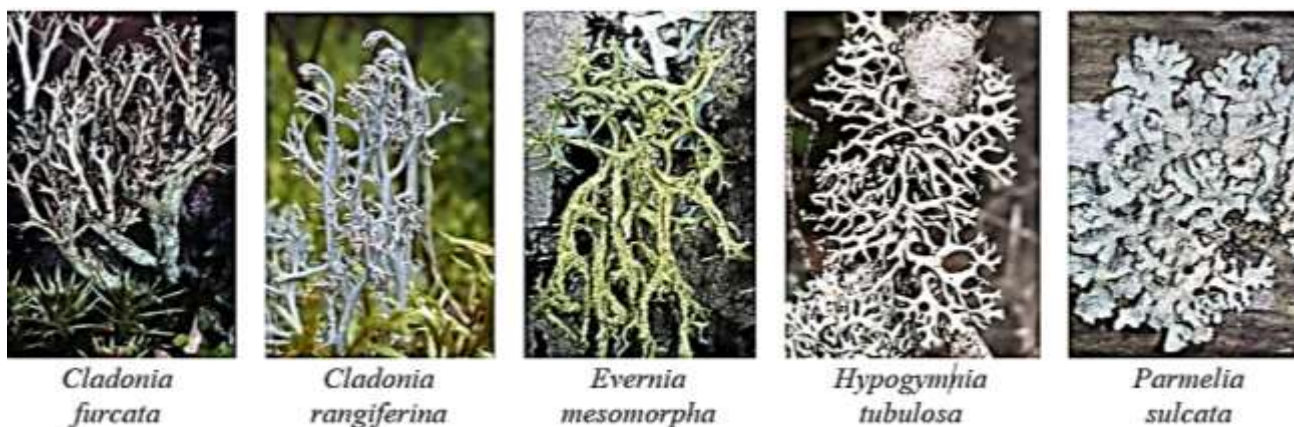


Рисунок 1. Объекты исследования [7]

Образцы лишайников отбирали на соответствующих субстратах, очищали от примесей, высушивали до воздушно-сухого состояния. Вторичные метаболиты данных видов лишайников представлены депсидами, депсидонами и дибензофуранами [7] (таблица 1).

Таблица 1
СОСТАВ ВТОРИЧНЫХ МЕТАБОЛИТОВ ИЗУЧАЕМЫХ ВИДОВ ЛИШАЙНИКОВ

| Виды лишайников | Наименования вторичных метаболитов |
|-----------------------|---|
| <i>C. furcata</i> | фумарпротоцетраровая кислота, атранорин |
| <i>C. rangiferina</i> | фумарпротоцетраровая и протоцетраровая кислоты; атранорин (следы) |
| <i>E. mesomorpha</i> | диварикатовая и усниновая кислоты |
| <i>H. tubulosa</i> | атранорин, хлоратранорин, физодовые кислоты |
| <i>P. sulcata</i> | атранорин, хлоратранорин, салазиновая и консалазиновая кислоты |

Все упомянутые вещества, как и подавляющее большинство других вторичных метаболитов лишайников, растворимы только в органических растворителях.

Сухую биомассу лишайников экстрагировали по Сокслету ацетоном, метанолом и этанолом, растворитель удаляли, экстракты досушивали до твердого состояния. Процентный выход экстрактов составлял $2,2 \div 2,9$ для *C. furcata*; $2,8 \div 3,2$ для *C. rangiferina*; $6,4 \div 10,2$ для *E. mesomorpha*; $8,8 \div 9,6$ для *H. tubulosa* и $7,3 \div 9,2$ для *P. sulcata*. Экстракты растворяли в метаноле до концентрации 1 мг/мл, определяли их антиоксидантные свойства.

Суммарное содержание флавоноидов в экстрактах из лишайников определяли по методике, описанной в [8]: к 1 мл раствора экстракта (или холостой пробы, без экстракта)

приливали 0,5 мл 10% AlCl_3 , дистиллированной водой доводили объем до 5 мл, инкубировали 60 мин, после чего определяли оптическую плотность при 415 нм. Для определения содержания флавоноидов строили калибровочную кривую зависимости оптической плотности растворов от концентрации рутина. Результаты выражали в миллиграмм-эквивалентах рутина на грамм экстракта.

Для оценки общей антиоксидантной активности экстрактов из лишайников использовали ферро-/феррицианидный спектрофотометрический метод (PFRAP (potassium ferricyanide reducing power)) [9]. Смешивали по 1 мл растворов экстракта, фосфатного буфера (0,2 М, pH 6,6) и $\text{K}_3[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ (1%), инкубировали 30 мин при 50°C, затем приливали 1 мл 10% раствора трихлоруксусной кислоты, 2 мл дистиллированной воды и 0,5 мл 0,1% раствора FeCl_3 . В процессе анализа происходит восстановление Fe (III) до Fe (II) с образованием $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$. Данный цианоферрат образует ярко-синий комплекс при взаимодействии с FeCl_3 . Чем выше значение оптической плотности раствора, тем активнее восстановитель, присутствующий в системе. Оптическую плотность образца измеряли при 700 нм, для контроля использовали аскорбиновую кислоту. Результаты выражали в единицах оптической плотности — Беллах.

Фосфомолибденовый метод (Phosphomolybdenum Assay) оценки антиоксидантной активности базируется на реакции восстановления антиоксидантами Mo(VI) до Mo(V) и последующем образовании зеленовато-голубого фосфомолибденового комплекса при кислых значениях pH. Схема анализа [10]: смешивали 0,5 мл раствора экстракта образца и 5 мл фосфомолибденового реактива (0,6 М серной кислоты, 28 мМ фосфата натрия и 4 мМ молибдата аммония), инкубировали 90 мин при 95 °С, охлаждали до комнатной температуры, измеряли оптическую плотность при 695 нм. Для контроля использовали рутин. Результаты выражали в миллиграмм-эквивалентах аскорбиновой кислоты на грамм экстракта.

Метод CUPRAC (Cupric Reducing Antioxidant Capacity) основан на взаимодействии антиоксиданта с комплексом Cu(II) — неocupроин. Cu(II) восстанавливается до Cu(I) и образует с неocupроином оранжево-желтый комплекс. Схема анализа [11]: к 0,5 мл раствора экстракта приливали 1 мл 0,01 М CuCl_2 , 1 мл ацетатно-аммонийного буфера с pH 7,0 и 1 мл неocupроина (0,075 М). Объем реакционной смеси доводили дистиллированной водой до 4 мл, инкубировали 60 мин при 37°C. Оптическую плотность измеряли при 450 нм. Для контроля использовали тролокс. Результаты выражали в процентах ингибирования.

Для оценки антирадикальной активности экстрактов из лишайников использовали ДФПГ-тест (DPPH (1,1-Diphenyl-2-picrylhydrazyl Radical Scavenging Capacity (DPPH) Assay)). При взаимодействии с антиоксидантами темно-фиолетовый раствор стабильного радикала ДФПГ (1,1-дифенил-2-пикрилгидразида) постепенно обесцвечивается до бледно-желтого цвета, его оптическая плотность является мерой антирадикальной активности образца. Схема анализа [12]: смешивали по 2 мл растворов экстракта и ДФПГ (1мМ/л), инкубировали 30 мин в темноте при комнатной температуре, измеряли оптическую плотность смеси при 517 нм. Для контроля использовали аскорбиновую кислоту. Результаты выражали в процентах ингибирования. Процент ингибирования ДФПГ вычисляли по формуле:

$$I\% = \frac{A_c - A_s}{A_c} \cdot 100;$$

где, A_c — оптическая плотность «холостой» пробы; A_s — оптическая плотность образца.

При использовании метода обесцвечивания β -каротина (β -Carotene Bleaching Assay) [13] в 50 мл хлороформа растворяли 10 мг β -каротина. Готовили реакционную смесь: к 1 мл

раствора β-каротина приливали 20 мкл линолевой кислоты, добавляли 0,2 мг эмульгатора ТВИН-20, 0,2 мл раствора экстракта из лишайников (или α-токоферола) и 50 мл дистиллированной воды, предварительно насыщенной кислородом. Смесь энергично встряхивали, измеряли оптическую плотность при 470 нм. Затем образцы инкубировали в темноте при комнатной температуре на протяжении 48 ч, после чего вновь определяли их оптическую плотность при 470 нм. В присутствии кислорода, растворенного в воде, в результате неферментативного окисления линолевой кислоты образуется пероксильный радикал, который обесцвечивает оранжево-желтый раствор β-каротина. Образец экстракта из лишайника частично нейтрализует пероксильный радикал, что и регистрируется путем измерения оптической плотности раствора при 470 нм (типичная длина волны поглощения β-каротина). Для контроля использовали α-токоферол. Антирадикальную активность экстракта вычисляли по формуле:

$$ARA \% = 100 \cdot \left[1 - \frac{A_{06}^0 - A_{06}^{48}}{A_K^0 - A_K^{48}} \right],$$

где A_{06}^0 , A_{06}^{48} — оптическая плотность реакционной смеси с образцом (раствор экстракта из лишайника в метаноле) через 0 ч и 48 ч инкубации, соответственно; A_K^0 , A_K^{48} — оптическая плотность реакционной смеси с контролем (метанол без экстракта из лишайника) через 0 ч и 48 ч инкубации, соответственно.

Еще один метод оценки антирадикальной активности экстрактов из лишайников называется железо-тиоцианатным (ferric thiocyanate method). Схема анализа [14]: смешивали 1 мл раствора экстракта и 5 мл реакционной смеси, содержащей линолевою кислоту и эмульгатор ТВИН-20 в фосфатном буфере с рН 7,0. Смесь инкубировали при 37°C на протяжении 120 мин. К аликвоте полученной смеси 0,1 мл приливали 9,7 мл этанола, 0,1 мл 30% роданида (тиоцианата) аммония и 0,1 мл 2мМ FeCl₂ (в 1М HCl). Смесь выдерживали в течение 3 минут, после чего измеряли оптическую плотность при 500 нм.

Липидные пероксиды образуются в эмульсии линолевой кислоты. Они окисляют Fe(II) до Fe(III), что в присутствии роданида аммония приводит к образованию Fe(CNS)₃ — вещества кроваво-красного цвета с поглощением около 500 нм. Ингибирующее действие антиоксидантов на окисление Fe(II) до Fe(III) оценивают по образованию Fe(CNS)₃ — чем интенсивнее окраска, тем выше оптическая плотность раствора, тем слабее действие антиоксиданта.

Для контроля использовали аскорбиновую кислоту. Результаты выражали в процентах ингибирования. Процент ингибирования перекисного окисления липидов вычисляли по формуле:

$$I\% = \frac{A_c - A_s}{A_c} \cdot 100;$$

где, A_c — оптическая плотность «холостой» пробы; A_s — оптическая плотность образца.

Все спектрофотометрические измерения производили на УФ-спектрофотометре Solar РВ 2201, измерительные кюветы — кварцевые. Анализ результатов исследования производили с помощью программного продукта Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Антиоксидантные свойства экстрактов из лишайников, оцененные различными методами, существенно отличались между собой (Таблица 2).

Таблица 2

АНТИОКСИДАНТНЫЕ СВОЙСТВА ЭКСТРАКТОВ ИЗ ЛИШАЙНИКОВ

| Виды лишайников | Виды экстрактов | | |
|---|-----------------|---------------|---------------|
| | ацетоновый | метанольный | этанольный |
| Суммарное содержание флавоноидов, в мг-экв рутина на грамм экстракта | | | |
| <i>C. furcata</i> | 9,2 ± 0,87 | 19,8 ± 1,79 | 19,5 ± 1,73 |
| <i>C. rangiferina</i> | 6,3 ± 0,72 | 16,5 ± 1,37 | 23,6 ± 2,88 |
| <i>E. mesomorpha</i> | 11,2 ± 1,03 | 15,3 ± 1,78 | 18,2 ± 1,29 |
| <i>H. tubulosa</i> | 19,2 ± 1,72 | 33,9 ± 5,19 | 30,9 ± 3,97 |
| <i>P. sulcata</i> | 11,7 ± 1,34 | 28,3 ± 2,75 | 25,7 ± 2,64 |
| Антиоксидантная активность, PFRAP, в Беллах | | | |
| <i>C. furcata</i> | 0,081 ± 0,004 | 0,095 ± 0,014 | 0,132 ± 0,012 |
| <i>C. rangiferina</i> | 0,046 ± 0,003 | 0,075 ± 0,005 | 0,117 ± 0,025 |
| <i>E. mesomorpha</i> | 0,056 ± 0,003 | 0,114 ± 0,019 | 0,109 ± 0,015 |
| <i>H. tubulosa</i> | 0,059 ± 0,004 | 0,138 ± 0,021 | 0,121 ± 0,011 |
| <i>P. sulcata</i> | 0,037 ± 0,005 | 0,172 ± 0,018 | 0,114 ± 0,008 |
| Антиоксидантная активность, Phosphomolybdenum Assay, в мг-экв аскорбиновой кислоты на грамм экстракта | | | |
| <i>C. furcata</i> | 50,8 ± 5,15 | 48,4 ± 3,38 | 57,2 ± 3,89 |
| <i>C. rangiferina</i> | 37,9 ± 4,53 | 55,3 ± 4,94 | 65,5 ± 7,31 |
| <i>E. mesomorpha</i> | 44,7 ± 5,16 | 66,2 ± 7,49 | 59,8 ± 4,47 |
| <i>H. tubulosa</i> | 51,2 ± 4,78 | 74,3 ± 5,36 | 27,4 ± 2,93 |
| <i>P. sulcata</i> | 69,3 ± 5,45 | 68,4 ± 5,64 | 61,7 ± 5,25 |

Суммарное содержание флавоноидов в экстрактах из лишайников не просто достаточно велико, но практически равно таковым в экстрактах из высших растений пищевого и медицинского назначения [15]. Другое дело, что из высших растений, как правило, экстракты получают путем экстрагирования водой, что предполагает извлечение принципиально иных соединений, чем содержащихся в экстрактах из лишайников. Очевидно, что ацетоновые экстракты содержат меньше флавоноидов, чем спиртовые.

Многие авторы сообщают о наличии значимых корреляций между содержанием фенольных соединений, в частности, флавоноидов и антиоксидантной активностью экстрактов из лишайников [16–18]. Можно было бы ожидать высокой антиоксидантной активности анализируемых экстрактов.

Методом PFRAP установлено, что антиоксидантная активность экстрактов из пяти видов лишайников существенно ниже таковой, оцененной нами для аскорбиновой кислоты как 1,974±0,078. Поскольку разница между антиоксидантной активностью экстрактов из лишайников и аскорбиновой кислоты составляет от 11,5 до 53 раз, сравнения экстрактов между собой представляются излишними. При этом полученные данные частично согласуются с таковыми, приведенными в [19].

Фосфомолибденовым методом показано, что изучаемые экстракты из лишайников демонстрировали слабую и умеренную антиоксидантную активность. Для рутина антиоксидантная активность была равна 161,3±2,15 мг-экв аскорбиновой кислоты, что согласуется с [20].

Результаты определения антиоксидантных свойств экстрактов из лишайников, полученные разными методами, но выраженные в одних и тех единицах — процентах ингибирования, также существенно различались между собой (Рисунок 2).

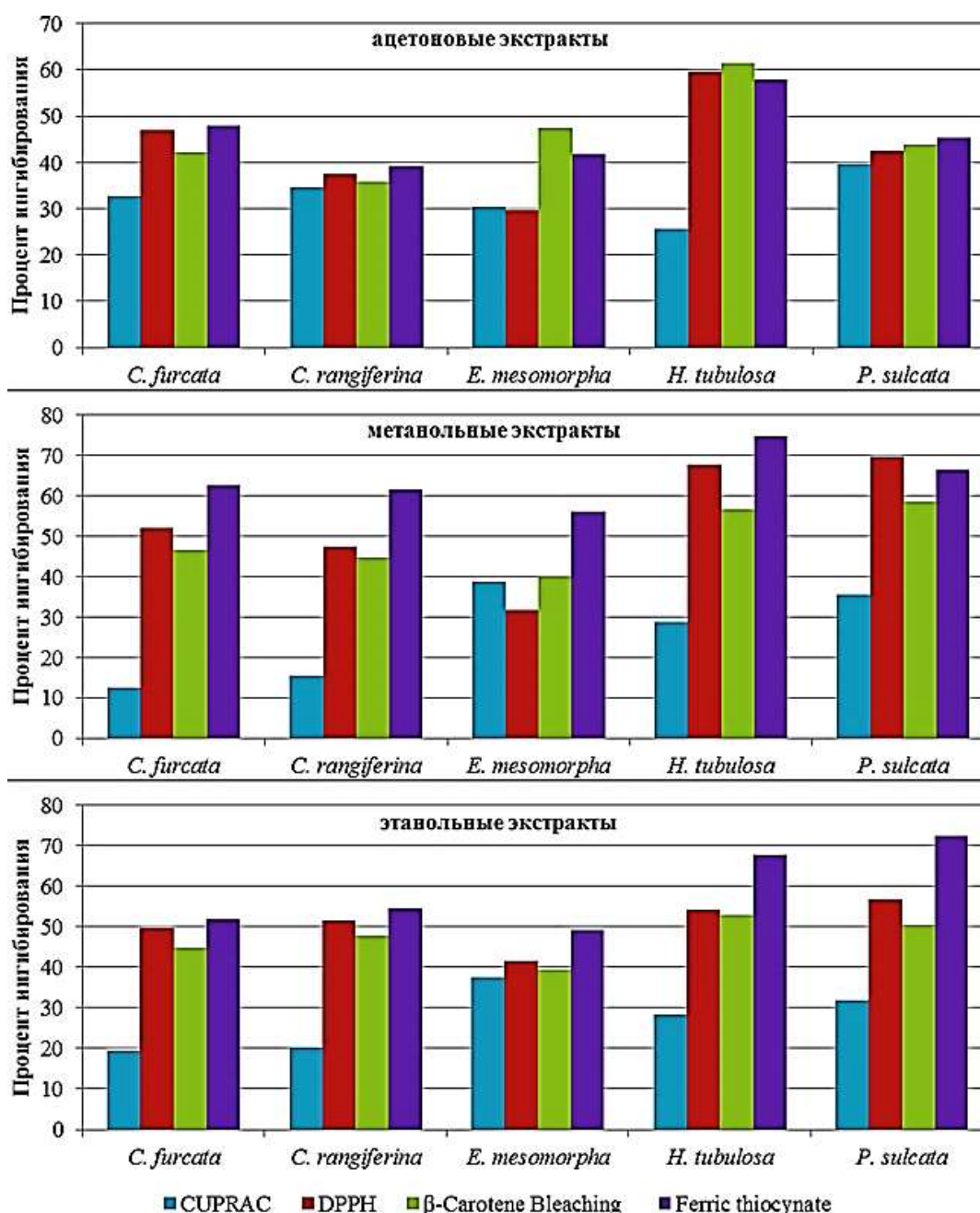


Рисунок 2. Антиоксидантные свойства экстрактов из лишайников, определенные различными методами

Данные, полученные методом CUPRAC, не с чем сравнивать, так как для изучаемых видов экстрактов они получены впервые. Укажем лишь, что найденный нами процент ингибирования для тролокса составил $97,8 \pm 0,69\%$. Очевидно, что анализируемые виды экстрактов проявляли существенно худшие антиоксидантные свойства.

Антирадикальные свойства экстрактов в отношении ДФПГ согласуются с некоторыми опубликованными данными [21], но большей частью являются новыми. ДФПГ-тест в отношении аскорбиновой кислоты показал процент ингибирования $96,4 \pm 0,83$, тогда как активность экстрактов из лишайников не превышала 70%.

Определенный процент обесцвечивания β-каротина α-токоферолом составляет $51,2 \pm 0,62$, что согласуется с работой [13]. Отсюда следует, что экстракты из *H. tubulosa* и *P. sulcata* обладают выраженной антиокислительной активностью в отношении генерируемых

радикалов линолевой кислоты. Сказанное подтверждается данными, полученными тиоцианатным методом: ингибирующее действие аскорбиновой кислоты составило $62,7 \pm 0,89\%$, что позволяет выделить спиртовые экстракты из *H. tubulosa* и *P. sulcata* как обладающие антирадикальными свойствами.

Заключение

Выполнен *in vitro* скрининг антиоксидантных свойств ацетоновых, метанольных и этанольных экстрактов из лишайников *Cladonia furcata*, *Cladonia rangiferina*, *Evernia mesomorpha*, *Hypogymnia tubulosa* и *Parmelia sulcata*. Применены методы: оценка суммарного содержания флавоноидов, ферро-/феррицианидный, фосфомолибденовый, CUPRAC,ДФП, обесцвечивания β -каротина и железо-тиоцианатный. Показано, что большинство проанализированных экстрактов характеризуются слабой и умеренной антиоксидантной активностью. Для метанольных и этанольных экстрактов из *H. tubulosa* и *P. sulcata* установлена значимая активность в отношении генерируемых в аналитической системе радикалов линолевой кислоты.

Финансирование: работа выполнена в рамках «Химические процессы, реагенты и технологии, биорегуляторы и биоорхимия», подпрограмма «Лесохимия-2», задание 2.4.01.04

Список литературы:

1. Ranković B. (ed.). Lichen secondary metabolites: bioactive properties and pharmaceutical potential. Springer, 2019. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-16814-8>
2. Котенкова Е. А., Лукинова Е. А., Купаева Н. В. Обзор методов оценки антиоксидантных свойств растительных экстрактов // Все о мясе. 2018. №2. С. 28–32. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2018-2-34-38>
3. Elkhateeb W. A., Daba G. M., Sheir D., Napuarachchi K. K., Thomas P. W. Mysterious world of lichens: highlights on their history, applications, and pharmaceutical potentials // The Natural Products Journal. 2021. V. 11. №3. P. 275-287. <https://doi.org/10.2174/2210315510666200128123237>
4. Gokilavani R., Rehana H. Biological properties of lichens—A review // Plant Arch. 2020. V. 20. P. 3777-3783.
5. Díaz-Reinoso B., Rodríguez-González I., Domínguez H. Towards greener approaches in the extraction of bioactives from lichens // Reviews in Environmental Science and Bio/Technology. 2021. P. 1-26. <https://doi.org/10.1007/s11157-021-09595-9>
6. Bibi Sadeer N., Montesano D., Albrizio S., Zengin G., Mahomoodally M. F. The versatility of antioxidant assays in food science and safety—Chemistry, applications, strengths, and limitations // Antioxidants. 2020. V. 9. №8. P. 709. <https://doi.org/10.3390/antiox9080709>
7. CNALH. Consortium of North American Lichen Herbaria. 2020.
8. Pełkal A., Pyrzynska K. Evaluation of aluminium complexation reaction for flavonoid content assay // Food Analytical Methods. 2014. V. 7. P. 1776-1782. <https://doi.org/10.1007/s12161-014-9814-x>
9. Ahmed E. F., Elkhateeb W. A., Taie H. A., Rateb M. E., Fayad W. Biological capacity and chemical composition of secondary metabolites from representatives Japanese lichens // Journal of Applied Pharmaceutical Science. 2017. V. 7. №1. P. 098-103. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2017.70113>
10. Tomović J., Kosanić M., Ranković B., Vasiljević P., Najman S., Manojlović N. Phytochemical analysis and biological activity of extracts of lichen *Physcia Semipinnata*: As a new

source of pharmacologically active compounds // *Farmacia*. 2019. V. 67. №2. P. 346-353. <http://dx.doi.org/10.31925/farmacia.2019.2.21>

11. Sundararaj J. P. et al. In vitro assessment of antioxidant and antimicrobial activities of different solvent extracts from lichen *Ramalina nervulosa* // *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*. 2015. V. 7. №2015. P. 200-204.

12. Yeash E. A., Letwin L., Malek L., Suntres Z., Knudsen K., Christopher L. P. Biological activities of undescribed North American lichen species // *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 2017. V. 97. №14. P. 4721-4726. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8340>

13. Stanly C., Hag Ali D. M., Keng C. L., Boey P. L., Bhatt A. Comparative evaluation of antioxidant activity and total phenolic content of selected lichen species from Malaysia // *J Pharm Res*. 2011. V. 4. №8. P. 2824-2827.

14. Özen T., Kinalioğlu K. Determination of antioxidant activity of various extracts of *Parmelia saxatilis* // *Biologia*. 2008. V. 63. №2. P. 211-216. <https://doi.org/10.2478/s11756-008-0047-6>

15. Zeng X., Xi Y., Jiang W. Protective roles of flavonoids and flavonoid-rich plant extracts against urolithiasis: A review // *Critical reviews in food science and nutrition*. 2019. V. 59. №13. P. 2125-2135. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1439880>

16. Mükemre M., Zengin G., Turker R. S., Aslan A., Dalar A. Biological activities and chemical composition of *Xanthoria* lichens from Turkey // *International Journal of Secondary Metabolite*. 2021. V. 8. №4. P. 376-388. <https://doi.org/10.21448/ijsm.994427>

17. Popovici V., Bucur L., Popescu A., Schröder V., Costache T., Rambu D., Badea V. Antioxidant and cytotoxic activities of *Usnea barbata* (L.) FH Wigg. dry extracts in different solvents // *Plants*. 2021. V. 10. №5. P. 909. <https://doi.org/10.3390/plants10050909>

18. Tomović J., Kosanić M., Ranković B., Vasiljević P., Najman S., Manojlović N. Characteristics, Chemical Analysis and Biological Activities of Methanol Extracts of Lichens and // *Experimental and Applied Biomedical Research (EABR)*. 2020. <https://doi.org/10.2478/sjecr-2020-0057>

19. Aoussar N., Manzali R., Nattah I., Rhallabi N., Vasiljevic P., Bouksaim M., Mellouki F. Chemical composition and antioxidant activity of two lichens species (*Pseudevernia furfuracea* L and *Evernia prunastri* L) collected from Morocco // *JMES*. 2017. V. 8. №6. P. 1968-1976.

20. Muthu S., Murugan M., Rajendran K., Ponnusamy P. An Assessment of Proximate Composition, Antioxidant Activities and LC/MS Based Phytochemical Profiling of Some Lichen Species Collected From Western Ghats of Southern Part of India // *Jordan Journal of Biological Sciences*. 2021. V. 14. №4. <https://doi.org/10.54319/jjbs/140404>

21. Храменкова О. М. Антиоксидантные и цитотоксические свойства экстрактов из лишайников. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины. 2022. 224 с.

References:

1. Ranković, B. (Ed.). (2019). *Lichen secondary metabolites: bioactive properties and pharmaceutical potential*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-16814-8>

2. Kotenkova, E. A., Lukinova, E. A., & Kupaeva, N. V. (2018). Obzor metodov otsenki antioksidantnykh svoystv rastitel'nykh ekstraktov. *Vse o myase*, (2), 36. <https://doi.org/10.21323/2071-2499-2018-2-34-38>

3. Elkhateeb, W. A., Daba, G. M., Sheir, D., Hapuarachchi, K. K., & Thomas, P. W. (2021). Mysterious world of lichens: highlights on their history, applications, and pharmaceutical potentials. *The Natural Products Journal*, 11(3), 275-287.

<https://doi.org/10.2174/2210315510666200128123237>

4. Gokilavani, R., & Rehana, H. (2020). Biological properties of lichens—A review. *Plant Arch*, 20, 3777-3783.

5. Díaz-Reinoso, B., Rodríguez-González, I., & Domínguez, H. (2021). Towards greener approaches in the extraction of bioactives from lichens. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 1-26. <https://doi.org/10.1007/s11157-021-09595-9>

6. Bibi Sadeer, N., Montesano, D., Albrizio, S., Zengin, G., & Mahomoodally, M. F. (2020). The versatility of antioxidant assays in food science and safety—Chemistry, applications, strengths, and limitations. *Antioxidants*, 9(8), 709. <https://doi.org/10.3390/antiox9080709>

7. CNALH. (2020). Consortium of North American Lichen Herbaria.

8. Pękal, A., & Pyrzynska, K. (2014). Evaluation of aluminium complexation reaction for flavonoid content assay. *Food Analytical Methods*, 7, 1776-1782. <https://doi.org/10.1007/s12161-014-9814-x>

9. Ahmed, E. F., Elkhateeb, W. A., Taie, H. A., Rateb, M. E., & Fayad, W. (2017). Biological capacity and chemical composition of secondary metabolites from representatives Japanese lichens. *Journal of Applied Pharmaceutical Science*, 7(1), 098-103. <https://doi.org/10.7324/JAPS.2017.70113>

10. Tomović, J., Kosanić, M., Ranković, B., Vasiljević, P., Najman, S., & Manojlović, N. (2019). Phytochemical analysis and biological activity of extracts of lichen *Physcia Semipinnata*: As a new source of pharmacologically active compounds. *Farmacia*, 67(2), 346-353. <http://dx.doi.org/10.31925/farmacia.2019.2.21>

11. Sundararaj, J. P., Kuppuraj, S., Ganesan, A., Ponnusamy, P. & Nayaka, S. (2015). In vitro assessment of antioxidant and antimicrobial activities of different solvent extracts from lichen *Ramalina nervulosa*. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences*, 7(2015), 200-204.

12. Yeash, E. A., Letwin, L., Malek, L., Suntres, Z., Knudsen, K., & Christopher, L. P. (2017). Biological activities of undescribed North American lichen species. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(14), 4721-4726. <https://doi.org/10.1002/jsfa.8340>

13. Stanly, C., Hag Ali, D. M., Keng, C. L., Boey, P. L., & Bhatt, A. (2011). Comparative evaluation of antioxidant activity and total phenolic content of selected lichen species from Malaysia. *J Pharm Res*, 4(8), 2824-2827.

14. Özen, T., & Kinalioğlu, K. (2008). Determination of antioxidant activity of various extracts of *Parmelia saxatilis*. *Biologia*, 63(2), 211-216. <https://doi.org/10.2478/s11756-008-0047-6>

15. Zeng, X., Xi, Y., & Jiang, W. (2019). Protective roles of flavonoids and flavonoid-rich plant extracts against urolithiasis: A review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 59(13), 2125-2135. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1439880>

16. Mükemre M., Zengin G., Turker R. S., Aslan A., Dalar A. (2021). Biological activities and chemical composition of *Xanthoria* lichens from Turkey. *International Journal of Secondary Metabolite*, 8(4), 376-388. <https://doi.org/10.21448/ijsm.994427>

17. Popovici, V., Bucur, L., Popescu, A., Schröder, V., Costache, T., Rambu, D., ... & Badea, V. (2021). Antioxidant and cytotoxic activities of *Usnea barbata* (L.) FH Wigg. dry extracts in different solvents. *Plants*, 10(5), 909. <https://doi.org/10.3390/plants10050909>

18. Tomović, J., Kosanić, M., Ranković, B., Vasiljević, P., Najman, S., & Manojlović, N. (2020). Characteristics, Chemical Analysis and Biological Activities of Methanol Extracts of Lichens and. *Experimental and Applied Biomedical Research (EABR)*. <https://doi.org/10.2478/sjecr-2020-0057>

19. Aoussar, N., Manzali, R., Nattah, I., Rhallabi, N., Vasiljevic, P., Bouksaim, M., ... & Mellouki, F. (2017). Chemical composition and antioxidant activity of two lichens species (*Pseudevernia furfuracea* L and *Evernia prunastri* L) collected from Morocco. *JMES*, 8(6), 1968-1976.
20. Muthu, S., Murugan, M., Rajendran, K., & Ponnusamy, P. (2021). An Assessment of Proximate Composition, Antioxidant Activities and LC/MS Based Phytochemical Profiling of Some Lichen Species Collected From Western Ghats of Southern Part of India. *Jordan Journal of Biological Sciences*, 14(4). <https://doi.org/10.54319/jjbs/140404>
21. Khranchenkova, O. M. (2022). Антиоксидантные и тситотоксические свойства экстрактов из лишайников. Gomel'. (in Russian)

Работа поступила
в редакцию 23.03.2023 г.

Принята к публикации
30.03.2023 г.

Ссылка для цитирования:

Храмченкова О. М. Антиоксидантные свойства экстрактов из лишайников // Бюллетень науки и практики. 2023. Т. 9. №5. С. 18-28. <https://doi.org/10.33619/2414-2948/90/02>

Cite as (APA):

Khranchankova, V. (2023). Antioxidant Properties of Lichen Extracts. *Bulletin of Science and Practice*, 9(5), 18-28. (in Russian). <https://doi.org/10.33619/2414-2948/90/02>