

УДК 582.282 + 663.885 + 661.691
DOI: 10.36305/0513-1634-2021-141-71-80

АНТИОКСИДАНТНЫЙ СТАТУС И СОДЕРЖАНИЕ СЕЛЕНА В МАКРОМИЦЕТАХ ГОРНОГО КРЫМА

Надежда Александровна Голубкина¹, Ирина Сергеевна Саркина²,
Владимир Александрович Лапченко³, Елена Витальевна Лапченко³,
Наталья Александровна Багрикова², Татьяна Сергеевна Науменко²

¹ Федеральный научный центр овощеводства
143072, Московская обл., Одинцовский район, пос. ВНИИССОК, ул. Селекционная, 14
E-mail: segolubkina45@gmail.com

² Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН
298648, Республика Крым, г. Ялта, пгт Никита, спуск Никитский, 52
E-mail: maslov_ivan@mail.ru; nbagrik@mail.ru; tanya_yalta@inbox.ru

³ Карадагская научная станция им. Т.И. Вяземского – природный заповедник РАН –
филиал ФГБУН ФИЦ "Институт биологии южных морей им. А.О. Ковалевского РАН",
298188, Республика Крым, г. Феодосия, пгт Курортное, ул. Науки, 24
E-mail: ozon.karadag@gmail.com

В статье приведены данные антиоксидантной активности и селен аккумулярующей способности 18 видов макромицетов Горного Крыма, относящихся к 5 семействам. Уровень антиоксидантной активности у представителей семейства Boletaceae изменяется в интервале от 23,9 до 43,3 мг-экв ГК/г с.м., для Russulaceae – от 13,0 до 25,0 мг-экв ГК/г с.м., Tricholomataceae от 13,5 до 20,9 мг-экв ГК/г с.м., Agaricaceae 13,8-38,0 мг-экв ГК/г с.м. при уровнях аккумулярования селена в интервалах 423-3352 мкг/кг с.м. (Boletaceae), 236-1076 мкг/кг с.м. (Russulaceae), 664-1213 мкг/кг с.м. (Tricholomataceae) и 289-2392 мкг/кг с.м. (Agaricaceae). Впервые количественно охарактеризованы антиоксидантная активность (39,2 мг-экв. ГК/г с.м.) и каротиноидный состав *Clathrus ruber* (1,8 мг/г 9-цис-ликопина и 0,2 мг/г бета-каротина). Представленные данные свидетельствуют о высокой значимости исследованных видов макромицетов, как богатых источников антиоксидантов и селена.

Ключевые слова: макромицеты; антиоксиданты; селен; Горный Крым

Введение

В царстве грибов макромицеты (высшие грибы) занимают особое положение в связи с особенностями роста, интенсивностью симбиоза с окружающими растениями и огромными перспективами использования в питании и медицине, благодаря высокому содержанию биологически активных соединений. Действительно, большинство съедобных грибов обладает антиоксидантным, антиканцерогенным, кардиопротекторным, иммуномодулирующим, противоаллергенным, антимикробным, детоксикационным, антидиабетическим и противовоспалительным действием [14]. Благодаря этим свойствам они, в частности, способствуют нормализации работы мозга и высоко ценятся при лечении ожирения. Установление этих фактов в значительной степени способствовало разработке промышленного производства таких макромицетов, как шампиньон двуспоровый (*Agaricus bisporus* (J.E. Lange) Imbach), шиитаке (*Lentinula edodes* (Berk.) Pegler), вешенки (*Pleurotus* spp.), опёнок зимний (*Flammulina velutipes* (Curtis) Singer), лисичка обыкновенная (*Cantharellus cibarius* Fr.) и других [11]. В настоящее время в медицине выделилось и успешно развивается новое направление – фунгитерапия, исследуются и производятся мицелий и плодовые тела грибов, как источник новых мало изученных антиоксидантов и эссенциальных микроэлементов. Все большее внимание привлекает биохимический состав как широко известных, так и мало изученных грибов из природных экотопов, многообразие которых определяет огромные перспективы таких исследований

[3]. Так, из 14000 известных в мире представителей базидомицетов около половины являются съедобными, а 2000 видов относят к группе грибов с высокой пищевой ценностью в то время, как только для 5% базидиальных макромицетов доказана высокая фармакологическая ценность [6]. Особенно интенсивно в настоящее время ведутся поиски новых биологически активных метаболитов грибов. Уровни накопления селена в этом отношении имеют особое значение в связи с известной способностью грибов аккумулировать высокие концентрации микроэлемента [5], а также специфическим действием селена как мощного антиоксиданта, иммуномодулятора, с характерным противовирусным, кардиопротекторным и антиканцерогенным эффектом [9].

С другой стороны, следует отметить, что геохимические особенности местности сбора грибов в значительной степени определяют минеральный состав плодового тела и содержание биологически активных соединений [3]. В этом отношении особый интерес представляют грибы, произрастающие в условиях повышенного оксидантного стресса, способствующего, как известно, накоплению соединений антиоксидантного действия [9,10]. К регионам, обеспечивающим такие условия, следует отнести южное побережье Крыма. Уникальность ландшафтов региона и близость моря определяют интенсивный перенос макро- и микроэлементов с поверхности моря с аэрозолями, что способствует насыщению почвы минеральными веществами. Изучение макромицетов Горного Крыма традиционно проводилось по макро- и микропризнакам плодовых тел [2], а их биохимический состав до настоящего времени не изучался.

Цель исследований – оценка антиоксидантного статуса и уровней накопления селена базидиальными макромицетами из различных районов Горного Крыма, включая особо охраняемые природные территории – Карадагский природный заповедник и Арборетум Никитского ботанического сада, для выявления наиболее перспективных видов для практического применения.

Объекты и методы исследования

Образцы 18 видов базидиальных грибов, относящихся к семействам Boletaceae (3 вида), Agaricaceae (3 вида), Russulaceae (7 видов), Tricholomataceae (4 вида), Phallaceae (один вид) были собраны в 2019-2021 гг. на территории Карадагского природного заповедника (44°93'61" N, 35°23'33" E), Никитского ботанического сада (44°30'56" N; 34°13'96" E), сел Аромат и Новополе Бахчисарайского района (44°34'25" N, 33°54'35" E) (рис. 1), а также выше пгт Краснокаменка, городской округ Ялта (44°33'45" N, 34°17'35" E).

Каждый вид представлен 5-10 плодовыми телами. Образцы очищали от остатков почвы, разрезали на пластинки толщиной 0,2-0,5 см и высушивали при температуре 25-30°C до постоянного веса. Полученные образцы гомогенизировали и использовали для проведения биохимического анализа.

Полифенолы (TP)

Содержание полифенолов определяли спектрофотометрически с помощью реактива Фолина-Чиокалтеу [1]. Полграмма сухого порошка образцов грибов экстрагировали в течение часа при 80°C 20 мл 70% этанола. Раствор охлаждали до комнатной температуры, переносили количественно в 25 мл мерную колбу и доводили до метки 70% спиртом. Полученный экстракт перемешивали и фильтровали через складчатый фильтр. В мерную колбу на 25 мл добавляли 1 мл экстракта, 2,5 мл насыщенного раствора карбоната натрия Na_2CO_3 и 0,25 мл разбавленного вдвое дистиллированной водой реактива Фолина-Чиокалтеу. Полученную смесь после интенсивного перемешивания доводили до метки дистиллированной водой. Через час после окончания реакции измеряли показатель поглощения раствора при 730 нм на

спектрофотометре Unico 2804 UV (США). Содержание полифенолов рассчитывали по стандартной кривой, полученной с использованием 6 растворов галловой кислоты (Sigma) в интервале концентрации 0-90 мкг/мл. Результаты определения выражали в мг-экв галловой кислоты/г сухой массы (мг ГКЭ/г с.м.) (рис. 1).

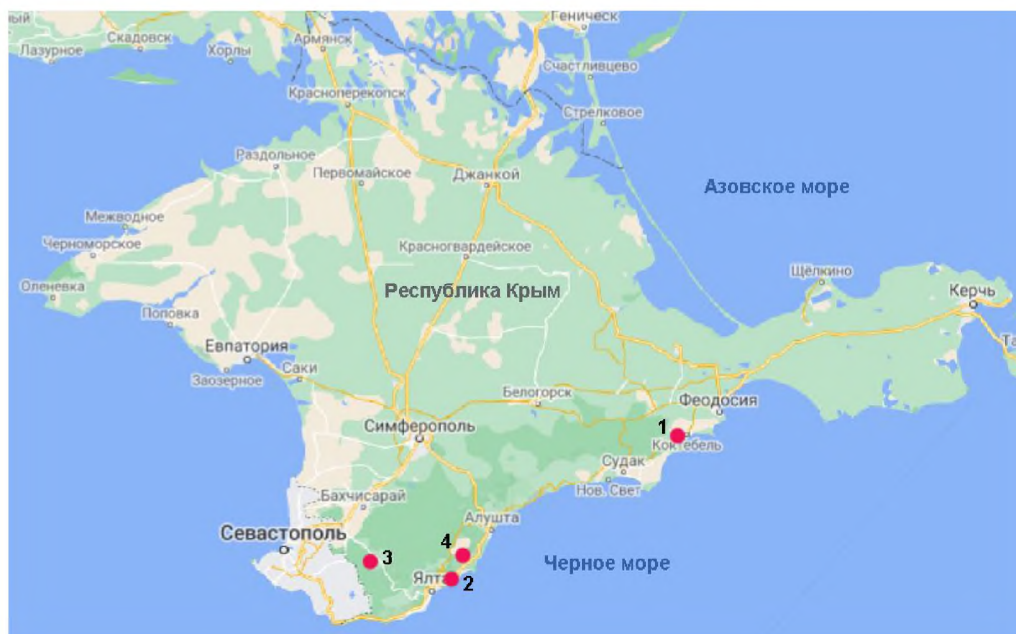


Рис. 1 Места сбора образцов грибов: 1 – Карадагский природный заповедник; 2 – Никитский ботанический сад; 3 – Бахчисарайский район, окр. сел Аромат – Новополеье; 4 – городской округ Ялта, окр. пгт Краснокаменка

Антиоксидантная активность (АОА)

Для определения антиоксидантной активности использовали колориметрический метод [1], основанный на титровании раствора 0.01 N KMnO_4 в кислой среде этанольным экстрактом грибов до обесцвечивания раствора, свидетельствующего о полном восстановлении Mn^{+6} до Mn^{+2} . В качестве внешнего стандарта использовали галловую кислоту. Результаты определения выражали в мг-экв галловой кислоты/г сухой массы (мг ГКЭ/г с.м.)

Селен (Se)

Содержание селена определяли микрофлуориметрическим методом [1]. Высушенные гомогенизированные образцы подвергали мокрому сжиганию смесью азотной и хлорной кислоты, селенат восстанавливали до селенита действием 6 N HCl . Содержание селена устанавливали по величине флуоресценции комплекса (пиазоселенола) Se^{+4} с 2,3-диаминонафталином (длина волны возбуждения 376 нм, эмиссии – 519 нм, гексан). Анализ проводили в трех повторностях. Достоверность результатов оценивали, используя референс-стандарт – порошок лиофилизированной капусты с регламентированным содержанием селена 150 мкг/кг с.м.

Каротиноидный состав

Навеску сухого порошка решеточника красного (*Clathrus ruber*) (около 0,1 г) растирали с небольшим количеством ацетона в фарфоровой ступке, раствор декантировали в химический стакан на 100 мл и процедуру повторяли до исчезновения окраски. К объединенному органическому экстракту добавляли 9 мл гексана и раствор промывали 4-5 раз дистиллированной водой до исчезновения запаха ацетона (таблица).

Таблица

Показатели антиоксидантного статуса макромицетов Горного Крыма

Название вида		Место отбора проб, № на карте (рис. 1)	АОА	TP	% TP	Se
русское	латинское					
Семейство Болетовые Boletaceae						
Боровик девичий (боровик укорененный)	<i>Butyriboletus appendiculatus</i> (Schaeff.) D. Arora & J.L. Frank	3	43.3a	17.6cd	40,6	584f
		1 СВ склон горы Святая	38.0ab	27.3a	71,8	3352a
Боровик Келета	<i>Suillellus queletii</i> (Schulzer) Vizzini, Simonini & Gelardi	3	37.7ab	19.0bc	50,4	423g
Моховик зеленый	<i>Xerocomus subtomentosus</i> (L.) Quél.	3	23.8c	11.3f	47,5	538f
Семейство Сыроежковые Russulaceae						
Груздь дубовый	<i>Lactarius insulsus</i> (Fr.) Fr.	3	25.0c	12.5ef	50	1076d
Валуй	<i>Russula foetens</i> Pers.	3	33.2b	12.0e	36,1	236k
Сыроежка выпцветающая	<i>Russula decolorans</i> (Fr.) Fr.	3	24.5c	9.5fg	38,7	431gj
Сыроежка приятно пахну щая	<i>Russula amoenolens</i> Romaqn.	3	23.9c	12.0e	50,2	338j
Сыроежка зеленая большая	<i>Russula aeruginea</i> Lindlad ex Fr.	3	19.9c	7.2h	36,2	540f
Сыроежка мясистая	<i>Russula medullata</i> Romagn.	3	16.6d	8.4g	50,6	326j
Сыроежка белая подруздок	<i>Russula delica</i> Fr.	3	13.0e	5.7j	43,8	316jh
Семейство Агариковые Agaricaceae						
Шампиньон двуспоровый	<i>Agaricus bisporus</i> (J.E. Lange) Imbach	1 источник Гяур-Чешме	23.5c	12.2e	51,9	2394b
Шампиньон полевой	<i>Agaricus arvensis</i> Schaeff.	1 СВ склон горы Святая	22.9c	20.5b	89,5	703e
		1 Ю склон горы Святая	38.0ab	27.3a	71,8	1003d
Шампиньон лесной	<i>Agaricus sylvaticus</i> Schaeff.	1 СВ склон горы Святая	19.8	18.6bcd	100	1861c
Коллибия веретеноногая	<i>Gymnopus fusipes</i> (Bull.) Gray	4	13.8e	4.8j	34,8	289h
Семейство Рядовковые Tricholomataceae						
Рядовка майская	<i>Calocybe gambosa</i> (Fr.) Donk	1 ЮЗ склон горы Святая	20.9c	7.9gh	37,8	664ef
Леписта лиловоногая	<i>Lepista personata</i> (Fr.) Cooke	1 подножье горы Легинер	20.6c	13.1e	63,6	716e
Леписта голая (рядовка фиолетовая)	<i>Lepista nuda</i> (Bull.) Cooke	1 ЮЗ склон горы Святая	13.5e	7.4h	54,8	979d
Леофилум сросшийся	<i>Leucocybe connata</i> (Schumach.) Vizzini, P. Alvarado, G. Moreno & Consiglio	1 СВ склон горы Святая	17.7	16.0d	100	1213d
Семейство Веселковые Phallaceae						
Решеточник красный	<i>Clathrus ruber</i> P. Micheli ex Pers.	2	39.2a	19.6b	50	367j

Значения в столбцах с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $P < 0,05$. АОА – общая антиоксидантная активность; TP – общее содержание полифенолов

Гексановый экстракт переносили количественно в пикнометр на 10 мл, доводили до метки гексаном и перемешивали. Раствор фильтровали через небольшой слой безводного сульфата натрия и наносили 0,5 мл полученного экстракта на пластинку хроматографической бумаги Ватман 3А. Разделение и количественное определение каротиноидов осуществляют количественной тонкослойной хроматографией в гексане [1]. Для идентификации индивидуальных каротиноидов снимали спектр поглощения компонентов в интервале 350-550 нм.

Статистический анализ

Статистическую обработку результатов осуществляли с использованием теста Дункана и программы MS Excel.

Результаты и обсуждение

Полученные данные антиоксидантного статуса макромицетов Горного Крыма свидетельствуют о значительных меж- и внутривидовых различиях в показателях общей антиоксидантной активности, содержания полифенолов и микроэлемента селена (таблица). Уровень антиоксидантной активности у представителей семейства Boletaceae меняется в интервале от 23,9 до 43,3 мг-экв ГК/г с.м., для Russulaceae – от 13,0 до 25,0 мг-экв ГК/г с.м., Tricholomataceae – от 13,5 до 20,9 мг-экв ГК/г с.м., Agaricaceae – от 13,8 до 38,0 мг-экв ГК/г с.м. Среди представленных видов наибольшей антиоксидантной активностью обладали решеточник красный, боровик девичий и отдельные образцы шампиньонов. Медиана общей антиоксидантной активности составила 23,8 мг-экв ГК/г с.м., а для полифенолов – 13,9 мг-экв ГК/г с.м.

Полифенолы

Значительные коэффициенты вариации для общей антиоксидантной активности и содержания полифенолов (36,2% и 50,4%, соответственно) свидетельствуют о том, что основополагающими в данном случае являются генетические особенности исследованных видов (рис. 2).

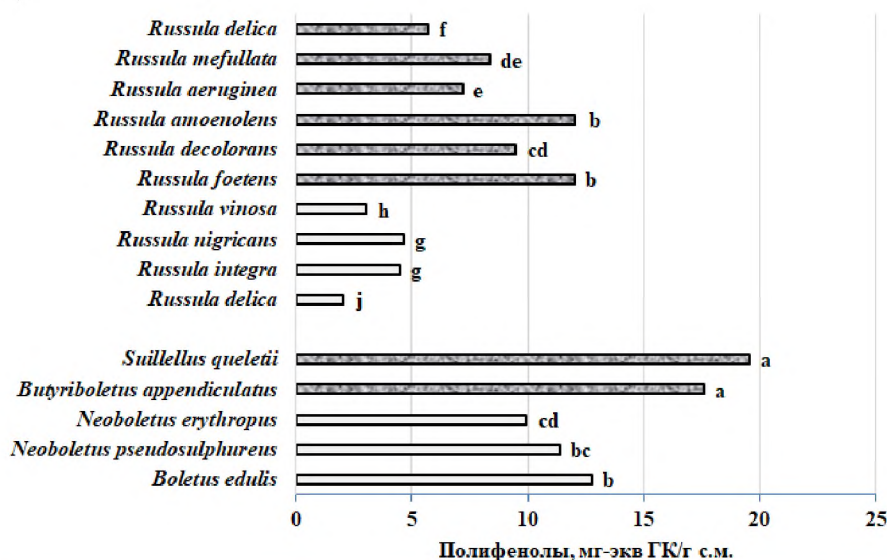


Рис. 2 Содержание полифенолов в грибах, аккумулирующих (*Boletus* s.l.) и не аккумулирующих селен (*Russula* spp.), собранных на Турецком (□) и Крымском (■) побережьях Черного моря. Значения с одинаковыми индексами статистически не различаются согласно тесту Дункана при $p < 0.05$

Интересно отметить в связи с этим, что вклад полифенолов в общую антиоксидантную активность грибов существенно различается и достигает 100% для лиофилума сросшегося и шампиньона лесного и снижается до 35-38% у рядовки майской, коллибии веретененой, валуя, сыроежек зелёной и цветущей. Среди известных биологически активных соединений антиоксидантного действия (полифенолы, флавоноиды, гликозиды, полисахариды, токоферолы, эрготионеин, каротиноиды, витамин С) полифенолы являются наиболее распространенными и представлены в грибах преимущественно фенольными кислотами [7].

Известно, что полифенолы грибов обладают выраженной противораковой активностью [13]. Исследования польских ученых по изучению антиоксидантной активности и содержанию полифенолов в грибах естественных местообитаний [16, 19] выявили уровень полифенолов (2,4-11,0) мг-экв ГК/г с.м., что значительно ниже полученных нами показателей (5,7-27,3 мг-экв ГК/г с.м.). Более того, сравнение полученных нами результатов содержания полифенолов с соответствующими данными, полученными в Турции [12], также выявили более высокие уровни полифенолов в макромицетах Крыма (см. рис. 2).

Следует, однако, отметить, что последние различия могут быть связаны не столько с различиями в геохимических условиях произрастания, сколько с особенностями экстракции полифенолов. Авторы использовали длительную экстракцию (24 часа) 80% метанолом при 4°C [12], в то время как в настоящей работе мы применяли более быструю экстракцию при 80°C 70% этанолом в течение 1 часа.

Каротиноиды

Попытки оценки уровней накопления каротиноидов макромицетами выявили крайне низкие концентрации бета-каротина и ликопина в таких грибах как говорушка гигантская *Leucopaxillus giganteus* (Sowerby) Singer, ежевик пестрый *Sarcodon imbricatus* (L.) P. Karst. и шампиньон полевой *Agaricus arvensis* Schaeff. [4]. Аналогичные результаты были получены при исследовании каротиноидного состава 13 видов грибов из Польши, в которых уровни ликопина и бета-каротина достигали в шляпке козляка *Suillus bovinus* (L.) Roussel 15 мкг/г сухой массы [17]. В лисичках *Cartharellus cibarius* Fr. установлено содержание бета-каротина и ликопина, не превышающие 0,79 и 0,33 мкг/100 г [15].

Среди исследованных нами видов грибов наибольший интерес в отношении накопления каротиноидов представляет решеточник красный (*Clatrurus ruber*). Впервые каротиноидный состав этого гриба был описан в 1976 г. [8], и в настоящее время общепринятым считается наличие в плодовом теле этого гриба транс-ликопина и бета-каротина. Использование количественной тонкослойной хроматографии (ТСХ) позволило выявить, что плодовое тело этого гриба, собранного на территории Никитского ботанического сада, содержит следовые количества бета-каротина, в то время как ликопин представлен не all-trans формой, как описано в литературе [8], а 9-цис изомером. Известно, что 9-цис изомер образуется из транс формы в томатах при изготовлении томатной пасты благодаря длительному воздействию высокой температуры и именно цис форма ликопина лучше всего усваивается организмом [18]. С другой стороны, образование транс-ликопина в растениях, как известно, осуществляется из 15-цис фитоена через промежуточные ди, три и тетра-цис изомеры ликопина [20].

Образцы решеточника красного в настоящем исследовании высушивались при комнатной температуре в отсутствии прямого солнечного света, что исключало возможность изомеризации. Действительно, ТСХ на хроматографической бумаге гексанового экстракта каротиноидов решеточника свидетельствует о доминировании

красного пигмента с хроматографической подвижностью (R_f 0.34), отличной от хроматографической подвижности транс-ликопина (R_f 0.30) (рис. 3).

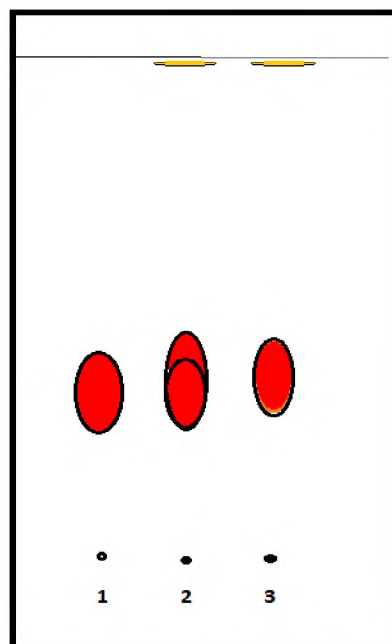


Рис. 3 ТСХ гексанового экстракта решеточника красного. Хроматографическая бумага 3А, гексан. 1 – транс-ликопин, 2 – транс-ликопин + экстракт решеточника красного, 3 – экстракт решеточника красного

Эти два изомера ликопина имеют четкие различия в УФ-спектре (рис. 4). Так, оба изомера имеют три выраженных максимума поглощения, из которых длинноволновые максимумы различаются наиболее значимо по длине волны. Анализ опубликованных в литературе данных свидетельствует о том, что это первый выявленный случай присутствия 9-цис- изомера среди представителей царства грибов.

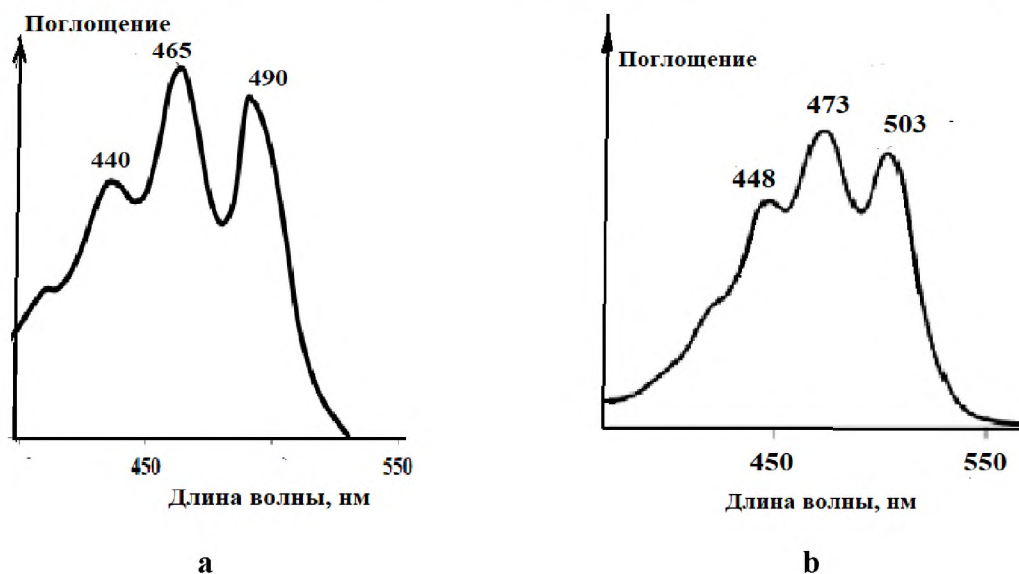


Рис. 4 УФ-спектры 9-цис- (а) и транс (b) изомера ликопина в гексане

Уровень накопления 9-цис ликопина в плодовом теле решеточника красного достигал 1,8 мг/г сухой массы, в то время как содержание бета-каротина не превышало 0,2 мг/г сухой массы. Высокая антиоксидантная активность спиртового экстракта решеточника красного (таблица) может быть связана, по крайней мере частично, с наличием значительных количеств 9-цис ликопина, хорошо растворимого в 70% водном спирте.

Селен (Se)

В антиоксидантной защите организма принимают участие несколько микроэлементов: цинк, медь, железо, марганец, селен, среди которых селен занимает особое место. Этот микроэлемент входит в состав многочисленных ферментов антиоксидантного действия, снижая цитотоксический эффект воздействия активных форм кислорода [9]. В грибах селен представлен несколькими производными, среди которых наиболее значимыми являются селенометионин, селеноцистеин, селенометил селеноцистеин, селенит и селено-полисахариды [5].

В условиях Горного Крыма интенсивность накопления грибами микроэлемента селена отличается сравнительно высокими значениями, уровни которых, в первую очередь, определяются генетически и колеблются в интервале от 236 до 3352 мкг/кг сухой массы (рис. 5).

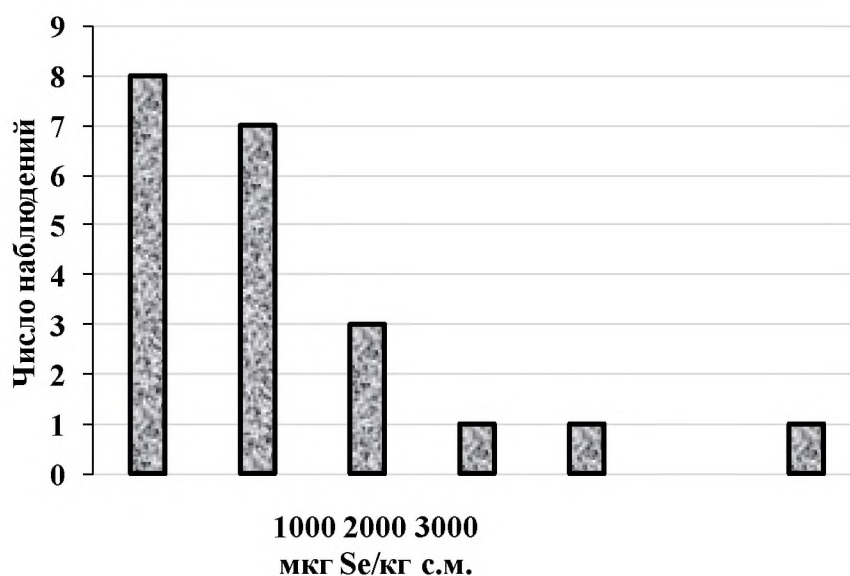


Рис. 5 Гистограмма содержания селена в грибах Горного Крыма

Наибольшие уровни селена обнаружены в грибах семейств Boletaceae и Agaricaceae, что хорошо согласуется с известными литературными данными [5]. С другой стороны, способность леписты голой *Lepista nuda* накапливать высокие уровни селена описана нами впервые. Значительный интервал концентраций селена оказался характерен для всех исследованных семейств: в семействе Russulaceae — от 236 до 1076 мкг/кг с.м., Tricholomataceae — от 664 до 1213 мкг/кг с.м., Agaricaceae — от 289 до 2394 мкг/кг с.м., Boletaceae — от 423 до 3352 мкг/кг с.м. Ранее нами было показано, что в условиях селеновой нагрузки (производство фосфорных удобрений г. Воскресенск) уровень накопления селена сыроежками может многократно возрастать по сравнению с грибами, собранными в других районах Подмосковья [10].

Выводы

Таким образом, результаты проведенного исследования впервые позволили охарактеризовать антиоксидантный статус 18 макромицетов Горного Крыма из семейств Boletaceae, Agaricaceae, Russulaceae, Tricholomataceae и Phallaceae, а также качественно и количественно охарактеризовать каротиноидный состав решеточника красного (*Clathrus ruber*). Полученные результаты свидетельствуют о высокой пищевой ценности исследованных грибов, как источников антиоксидантов и селена.

Исследования проводились в рамках тем Госзадания "КНС - ПЗ РАН филиал ФИЦ ИнБЮМ" (№121032300023-7), "НБС-НИЦ" (№ 0829-2019-0037)

Список литературы

1. Голубкина Н.А., Кекина Е.Г., Молчанова А.В., Антошкина М.С., Надежкин С.М., Солдатенко А.В. Антиоксиданты растений и методы их определения. – М.: Инфра-М., 2020. – 250 с.
2. Саркина И.С. Грибы знакомые и незнакомые. Справочник-определитель грибов Крыма. – Бизнес-Информ, 2018. – 488 с.
3. Al-Obaidi J.R., Jambari N.N., Ahmad-Kamil E.I. Mycopharmaceuticals and Nutraceuticals: Promising Agents to Improve Human Well-Being and Life Quality // J. Fungi – 2021. – Vol. 7(7). DOI: <https://doi.org/10.3390/jof7070503>.
4. Barros L., Ferreira M.-J., Queirós B., Ferreira I.C.F.R., Baptista P. Total phenols, ascorbic acid, B-Carotene and lycopene in Portuguese wild edible mushrooms and their antioxidant activities // Food Chem. – 2007. – Vol. 103(2). – P. 413-419. DOI: 10.1016/j.foodchem.2006.07.038.
5. Falandysz J. Selenium in edible mushrooms // J. Environ. Sci. Health Part C. – 2008. – Vol. 26. – P. 256-299.
6. Kalač P. Chapter 1-Introduction // In Edible Mushrooms. Ed. P. Kalač. – Academic Press: Cambridge – MA, USA, 2016. – P. 1-6.
7. Ferreira I.C.F.R., Barros L., Abreu R.M.V. Antioxidants in wild mushrooms // Curr. Med. Chem. – 2009. – Vol. 16 – P. 1543-1560.
8. Fiasson J.L., Petersen R.H. Carotenes in the fungus *Clathrus ruber* (Gasteromycetes) // Mycologia – 1973. – Vol. 65 (1). – P. 201-203. DOI: 10.2307/3757801.
9. Golubkina N.A., Kharchenko V.A., Caruso G. Chapter 3: Selenium: prospects of functional food production with high antioxidant activity // Reference Series in Phytochemistry. Plant Antioxidants and Health, Eds. H. Ekiert, K.G. Ramawat, J. Arora, 2021.
10. Golubkina N.A., Mironov V.E. Element Composition of Mushrooms in Contrasting Anthropogenic Loading // Geochem. Int. – 2018. – Vol. 56 (12). – P. 1263-1275.
11. Gupta S., Summuna B., Gupta M., Annepu S.K. Edible Mushrooms: Cultivation, Bioactive Molecules, and Health Benefits // In: Bioactive Molecules in Food. Eds. J.-M. Mérillon, K.G. Ramawat. – Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2018. – P. 1-33.
12. Keleş A., Koca İ., Gençcelep H. Antioxidant properties of wild edible mushrooms // J. Food Process Technol. – 2011. – Vol. 2. DOI: 10.4172/2157-7110.1000130.
13. Nowacka-Jechalke N., Nowak M.O.R. Chapter 11 – Mushroom Polyphenols as Chemopreventive Agents // Polyphenols: Prevention and Treatment of Human Disease (Second Edition) Academic press, 2018. – P. 137-150. DOI: 10.1016/B978-0-12-813008-7.00011-4.
14. Phan C.-W., Tan E.Y.-Y., Sabaratnam V. Bioactive Molecules in Edible and Medicinal Mushrooms for Human Wellness // In: Bioactive Molecules in Food. Eds. J.-M. Mérillon, K.G. Ramawat. – Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2018. – P. 1-24.

15. Podkowa A., Kryczyk-Poprawa A., Opoka W., Muszyńska B. Culinary–medicinal mushrooms: a review of organic compounds and bioelements with antioxidant activity // Eur. Food Res. Technol. – 2021. – Vol. 247. – P. 513-533. DOI: 10.1007/s00217-020-03646-1.
16. Radzki W., Sławińska A., Jabłońska-Ryś E., Gustaw W. Antioxidant capacity and polyphenolic content of dried wild edible mushrooms from Poland // Int. J. Med. Mushrooms – 2014. – Vol. 16(1) – P. 65-75. DOI: 10.1615/intjmedmushr.v16.i1.60.
17. Robaszkiewicz A., Bartosz G., Ławrynowicz M., Soszyński M. The Role of Polyphenols, β -Carotene, and Lycopene in the Antioxidative Action of the Extracts of Dried, Edible Mushrooms // J. Nutr. Metab. – 2010. – Vol. 2010. DOI: 10.1155/2010/173274.
18. Unlu N.Z., Bohn T., Francis D.M., Nagaraja H.N., Clinton S.K., Schweartz S.J. Lycopene from heat-induced cis-isomer-rich tomato sauce is more bioavailable than from all-trans-rich tomato sauce in human subjects // Br. J. Nutr. – 2007. – Vol. 98(1). – P. 140-6. DOI: 10.1017/S0007114507685201.
19. Witkowska A., Małgorzata M., Zujko E., Mirończuk-Chodakowska I. Comparative study of wild edible mushrooms as sources of antioxidants // Int. J. Med. Mushrooms. – 2011 – Vol. 13(4). – P. 335-41. DOI: 10.1615/intjmedmushr.v13.i4.30.
20. Yu Q., Ghisla S., Hirschberg J., Mann V., Beyer P. Plant Carotene Cis-Trans Isomerase CRTISO A New Member of the Fadred-dependent Flavoproteins Catalyzing Non-Redox Reaction // J. Biol. Chem. – 2011. – Vol. 286(10). – P. 8666-8676. DOI: 10.1074/jbc.M110.208017.

Статья поступила в редакцию 28.10.2021 г.

Golubkina N.A., Sarkina I.S., Lapchenko V.A., Lapchenko E.V., Bagrikova N.A., Naumenko T.S. Antioxidant status and selenium content in macromycetes of the Mountainous Crimea // Bull. Of the State Nikita Botan. Gard. – 2021. – № 141. – P. 71-80

Antioxidant status and selenium accumulation by 18 macromycetes species of the Mountainous Crimea was investigated. Total antioxidant activity of 5 families' representatives composed ranges of 23.9 - 43.3 mg GAE/g d.w. for Boletaceae, 13.0-25.0 mg GAE/g d.w. for Russulaceae, 13.5-20.9 mg GAE/g d.w. for Tricholomataceae, 13.8-38.0 mg GAE/g d.w. for Agaricaceae. Selenium accumulation levels reached 423-3352 $\mu\text{g/kg}$ d.w. (Boletaceae), 236-1076 $\mu\text{g/kg}$ d.w. (Russulaceae), 664-1213 $\mu\text{g/kg}$ d.w. (Tricholomataceae) and 289-2392 $\mu\text{g/kg}$ d.w. (Agaricaceae). High antioxidant activity (39.2 mg GAE/g d.w.) and specific carotenoid composition including 9-cis lycopene (1.8 mg/g) and beta-carotene (0.2 mg/g) were recorded for *Clathrus ruber* for the first time. The results indicate high significance of macromycetes investigated as powerful sources of antioxidants and selenium.

Key words: *macromycetes; antioxidants; selenium; mountainous Crimea*