

Антиоксидантные свойства водорастворимых полисахаридов и этанольных экстрактов мицелия ксилотрофных базидиальных грибов

Н. Р. АЛЬМЯШЕВА*, М. С. ЯРИНА, А. В. ГОЛЫШКИН, Б. Р. ДЖАВАХЯН, Л. М. КРАСНОПОЛЬСКАЯ

НИИ по изысканию новых антибиотиков им. Г. Ф. Гаузе, Москва

Antioxidant Properties of Water-Soluble Polysaccharides and Ethanolic Extracts of Xylotrophic Basidiomycetes Mycelium

N. R. ALMYASHEVA, M. S. YARINA, A. V. GOLYSHKIN, B. R. DZHAVAKHYAN, L. M. KRASNOPOLSKAYA

Gause Institute of New Antibiotics, Moscow

В настоящей работе проведено исследование антиоксидантных свойств фракций водорастворимых полисахаридов и этанольных экстрактов погруженного мицелия базидиальных грибов *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst, *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer и *Hericium erinaceus* (Bull) Persoon. С этой целью использовали методы определения хелатирующей способности по отношению к ионам двухвалентного железа, антирадикальной активности по отношению к ДФПГ и ингибирующего действия на реакцию жидкофазного окисления олеиновой кислоты. Последний метод применяли только в исследовании этанольных экстрактов мицелия базидиомицетов. Выделенные из мицелия *G. lucidum* и *F. velutipes* водорастворимые полисахариды и низкомолекулярные соединения, растворимые в этаноле, обладали высокой хелатирующей способностью, величины ЕС₅₀ данных образцов были сопоставимы с эффективностью контроля (ЭДТА-Na₂). Все исследованные этанольные экстракты обладали антирадикальной активностью по отношению к ДФПГ и ингибировали перекисное окисление олеиновой кислоты. Этанольный экстракт мицелия *H. erinaceus* отличался максимальным антирадикальным эффектом и способностью к деструкции гидропероксидов. Фракции полисахаридов, полученные в условиях эксперимента, не показали антирадикальной активности.

Ключевые слова: антиоксидантные свойства, базидиомицеты, *Ganoderma lucidum*, *Flammulina velutipes*, *Hericium erinaceus*, полисахариды, этанольные экстракты, мицелий.

The present study was conducted to investigate the antioxidant properties of water-soluble polysaccharides and ethanolic extracts of submerged mycelium of basidiomycetes *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst, *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer and *Hericium erinaceus* (Bull) Persoon. For this purpose, DPPH radical-scavenging activity assay, ferrous ions chelating assay and oleic acid peroxidation assay were applied. The last method was used only to investigate the antioxidant properties of ethanolic extracts. Water-soluble endo-polysaccharides and ethanol-soluble low molecular compounds of *G. lucidum* and *F. velutipes* mycelium showed high chelating capacity which was comparable to the EDTA-Na₂ (control group). All ethanolic extracts proved to have antiradical activity and oleic acid peroxidation capacity. Ethanolic extract of *H. erinaceus* mycelium showed maximum DPPH free radical-scavenging activity and could decompose hydroperoxides. Antiradical activity of water-soluble polysaccharides was not detected.

Keywords: antioxidant properties, basidiomycetes, *Ganoderma lucidum*, *Flammulina velutipes*, *Hericium erinaceus*, polysaccharides, ethanolic extracts, mycelium.

Введение

В последнее время повышен интерес к изучению роли активных форм кислорода (АФК) в патогенезе различных заболеваний. С одной стороны, АФК образуются в ходе естественных физиологических процессов и необходимы для поддержания иммунной системы организма, передачи клеточных сигналов и синтеза гормонов. С другой стороны, оксидативный стресс, вызванный высо-

кими концентрациями прооксидантов, может привести к повреждению белков, клеточных мембран и нуклеиновых кислот [1]. Наиболее выражены последствия свободно-радикального повреждения клеток при сердечно-сосудистых, нейродегенеративных, бронхолёгочных и онкологических заболеваниях [2–4].

Необходимый уровень АФК поддерживается антиоксидантной системой защиты организма, включающей ферментные (супероксиддисмутаза, каталаза, глутатионпероксидаза) и неферментные (аскорбиновая кислота, витамин Е, убинон и др.) составляющие [5]. Однако в ряде

© Коллектив авторов, 2017

*Адрес для корреспонденции: E-mail: almyashevanelya@mail.ru

случаев эта система защиты не срабатывает, что приводит к возникновению патологического процесса. Перспективным направлением исследований является разработка лекарственных средств, восстанавливающих антиоксидантно-прооксидантный баланс. Известен препарат Мексидол, способный как повышать активность антиоксидантных ферментов, так и ингибировать процессы перекисного окисления липидов (ПОЛ) [6]. Выраженные антиоксидантные свойства также отмечены у метаболического средства Цитофлавин, содержащего компоненты природного происхождения (янтарная кислота, инозин, витамины В₂ и РР). Приём препарата в 97% случаев способствовал снижению абсолютного количества малонового диальдегида (один из основных показателей уровня протекания ПОЛ) в сыворотке крови больных диабетом в 2 раза. Кроме того, установлено положительное влияние Цитофлавина на активность каталазы [7].

Базидиальные грибы являются продуцентами широкого спектра биологически активных соединений, таких как полисахариды, фенольные кислоты, флавоноиды, терпены, стероиды и др., которые можно рассматривать как потенциальные антиоксиданты [8–10]. В настоящей работе проведено исследование антиоксидантных свойств фракций водорастворимых полисахаридов и этанольных экстрактов погруженного мицелия базидиальных грибов *Ganoderma lucidum* (Curtis) P. Karst, *Flammulina velutipes* (Curtis) Singer и *Hericium erinaceus* (Bull) Persoon.

Материал и методы

Реактивы. Глюкоза и агар-агар были приобретены у ООО «НТК ДИАЭМ» (Россия), олеиновая кислота, дигидрофосфат калия, сульфат магния, натриевая соль этилендиаминтетрауксусной кислоты (ЭДТА-Na₂), ДМСО (диметилсульфоксид) и хлорид железа (II) — у ООО «Русхим», 2,2'-дифенил-1-пикрилгидразил (ДФПГ) и феррозин — у «Sigma-Aldrich» (США). Для приготовления питательных сред использовали полуобезжиренную соевую муку и оливковое масло пищевого качества.

Штаммы и условия культивирования. В работе использовали штаммы базидиомицетов *G.lucidum*, *F.velutipes* и *H.erinaceus* из коллекции лаборатории биологически активных соединений ФГБУ «НИИНА». Рабочие культуры хранили на скошенном картофельно-глюкозном агаре при 4°C.

Погруженное культивирование базидиомицетов проводили в колбах Эрленмейера емкостью 750 мл, содержащих 100 мл среды, при 220 об/мин и температуре 28°C. Объем посевного материала составлял 10% объема ферментационной среды. Ферментационная среда для *H.erinaceus* содержала (г/л водопроводной воды): глюкозу — 20,0; соевую муку — 15,0; дигидрофосфат калия — 2,5 и сульфат магния — 0,25. *G.lucidum* и *F.velutipes* выращивали на оптимизированных питательных средах [11, 12]. В качестве посевного материала использовали культуры, выращенные в описанных выше условиях на среде, содержащей (г/л водопроводной воды): глюкозу — 20,0; соевую муку — 10,0; дигидрофосфат калия — 2,5 и сульфат магния — 0,25 в течение 3–7 сут [8].

Биомассу отделяли от культуральной жидкости фильтрованием через лавсановую ткань, промывали дистиллированной водой, высушивали при 45°C в течение суток и измельчали.

Подготовка образцов. Навеску порошка биомассы (1 г на 100 мл) дважды экстрагировали 80% этанолом на водяной бане, нагретой до 80°C, в течение 30 мин. Экстракты объединяли и центрифугировали в течение 10 мин при 5000 об/мин, супернатанты упаривали на роторном испарителе до постоянной массы. Сухой остаток растворяли в 80% этаноле в концентрации 5 мг/мл. Содержание фенольных соединений в этанольных экстрактах определяли с использованием реагента Фолина и Чиокальто и галловой кислоты (ГК) в качестве стандарта [13].

Для получения суммарных фракций водорастворимых полисахаридов навеску порошка биомассы (3,6 г на 100 мл) экстрагировали дистиллированной водой при 121°C в течение 60 мин. Экстракты центрифугировали в течение 10 мин при 5000 об/мин. Полисахаридные фракции высаживали из супернатанта четырёхкратным объемом этанола при 4°C, диализовали против дистиллированной воды в течение суток и лиофильно высушивали, выход определяли гравиметрически. Содержание белка во фракциях водорастворимых полисахаридов определяли методом Бредфорд. Фракции водорастворимых полисахаридов растворяли в дистиллированной воде и ДМСО в концентрации 5 мг/мл.

Определение хелатирующей способности по отношению к ионам железа. В качестве исследуемых образцов использовали растворы фракций водорастворимых полисахаридов в дистиллированной воде и этанольные экстракты в концентрациях от 0,01 до 2,0 мг/мл. В пробирке смешивали 1 мл анализируемого раствора, 3,7 мл метанола или дистиллированной воды, 100 мкл водного раствора FeCl₂ (2 мМ) и 200 мкл водного раствора феррозина (5 мМ). Реакционную смесь выдерживали при 25°C в течение 10 мин, после чего определяли оптическую плотность при 562 нм [14]. Хелатирующую способность оценивали по величине ЕС₅₀, соответствующей концентрации исследуемого образца, необходимой для снижения содержания ионов двухвалентного железа на 50% от исходного значения.

Определение антирадикальной активности. В качестве исследуемых образцов использовали растворы фракций водорастворимых полисахаридов в ДМСО и этанольные экстракты в концентрациях от 0,5 до 5,0 мг/мл. Антирадикальную активность определяли спектрофотометрическим методом по отношению к ДФПГ. В кювете смешивали 100 мкл анализируемого раствора и 900 мкл раствора ДФПГ (6×10⁻⁵ М) в соответствующем растворителе. Реакционную смесь выдерживали в темноте при 25°C в течение 60 мин, после чего определяли оптическую плотность при 527 нм. Антирадикальную активность оценивали по величине ЕС₅₀, соответствующей концентрации исследуемого образца, необходимой для снижения содержания ДФПГ на 50% от исходного значения.

Проведение жидкофазного окисления олеиновой кислоты. Окисление олеиновой кислоты в присутствии этанольных экстрактов (1 мг/мл) проводили в термостатируемой ячейке (60°C) при скорости подачи воздуха 2–4 мл/мин в течение 5 ч. Барботаж воздухом проводили в течение 2 ч перед введением этанольных экстрактов. Ингибирующую способность образцов в процессе окисления олеиновой кислоты оценивали стандартным методом по количеству образующихся изомерных гидропероксидов L'ООН [15].

Для статистической обработки полученных результатов использовали программу MS Excel.

Результаты и обсуждение

В настоящей работе источником биологически активных метаболитов, таких как водорастворимые полисахариды и низкомолекулярные соединения, являлся погруженный мицелий *F.velutipes*, *G.lucidum* и *H.erinaceus*. Для определения оптимального времени культивирования были исследованы особенности роста базидиомицетов на

жидких питательных средах (рис. 1). Максимальный выход воздушно-сухой биомассы *H.erinaceus* составил 16,3 г/л и был получен через 144 ч культивирования, *F.velutipes* и *G.lucidum* — 35,4 и 18,2 г/л соответственно через 120 ч. Погруженный мицелий *H.erinaceus* отличался наибольшим содержанием водорастворимых полисахаридов, составившим 1,88 %. Наиболее высокий выход водорастворимых полисахаридов в расчёте на литр культуральной среды обеспечивала погруженная культура *F.velutipes* за счёт интенсивного накопления биомассы (табл. 1). Суммарное содержание в мицелии *F.velutipes* и *G.lucidum* соединений, растворимых в этаноле, превышало 30%, в то время как в случае *H.erinaceus* составило 22,8% (табл. 2).

Поскольку антиоксиданты могут обладать разными механизмами действия, изучение их активности целесообразно проводить с использованием нескольких методов. В работе антиоксидантные свойства метаболитов базидиальных грибов оценивали тремя методами: методом хелатирования ионов железа, методом определения антирадикальной активности в отношении ДФПГ и методом ингибирования реакции жидкофазного окисления олеиновой кислоты. Выбор методов обусловлен тем, что избыток ионов двухвалентного железа в клетках катализирует образование активных гидроксильных радикалов — основных инициаторов реакций окисления биомолекул, а для обрыва развивающейся цепи необходимы соединения, проявляющие антирадикальные свойства. Окисление ненасыщенных жирных кислот кислородом воздуха является модельной реакцией перекисного окисления липидов клеточных мембран. По изменению скорости накопления гидропероксидов в ходе процесса можно предположить механизм действия антиоксидантов.

С помощью двух методов определения антиоксидантных свойств, основанных на способности хелатировать ионы железа или антирадикаль-

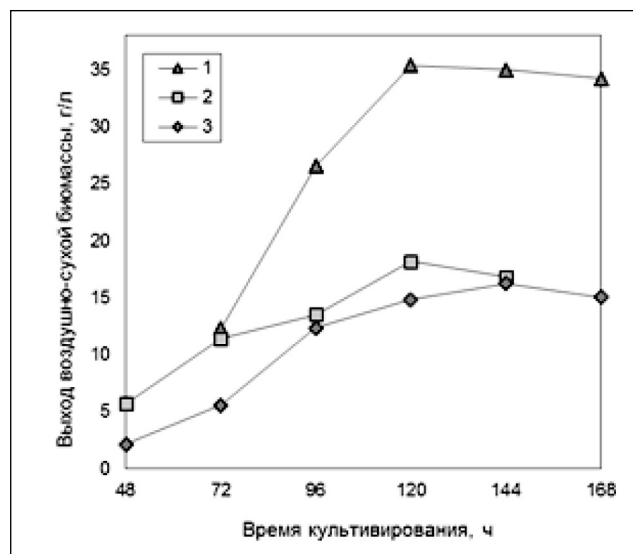


Рис. 1. Кинетические кривые накопления биомассы при погруженном культивировании *F.velutipes* (1), *G.lucidum* (2), *H.erinaceus* (3).

ной активности в отношении ДФПГ, были исследованы суммарные фракции водорастворимых полисахаридов и этанольные экстракты погруженного мицелия базидиальных грибов. Метод ингибирования реакции жидкофазного окисления олеиновой кислоты применяли только при работе с этанольными экстрактами.

Анализ экспериментальных результатов, полученных при исследовании суммарных фракций водорастворимых полисахаридов (см. табл. 1), показал, что все фракции способны хелатировать ионы двухвалентного железа. Наибольшая хелатирующая способность была отмечена у фракции водорастворимых полисахаридов *G.lucidum*, значение EC_{50} которой составило 1,17 мг/мл и превышало значение EC_{50} комплексона ЭДТА- Na_2 (2,09 мг/мл). Близкую эффективность проявила

Таблица 1. Антиоксидантные свойства суммарных фракций водорастворимых полисахаридов базидиомицетов

Базидиомицет	Содержание водорастворимых полисахаридов в мицелии, %	Выход водорастворимых полисахаридов, г/л культуральной среды	Антиоксидантные свойства (EC_{50}), мг/мл	
			хелатирующая способность по отношению к Fe^{2+}	антирадикальная активность по отношению к ДФПГ
<i>G.lucidum</i>	1,29	0,24±0,04	1,17±0,03	0
<i>F.velutipes</i>	1,75	0,62±0,07	2,33±0,11	0
<i>H.erinaceus</i>	1,88	0,28±0,03	9,83±0,01	0

Примечание. «0» — активность не обнаружена.

Таблица 2. Антиоксидантные свойства этанольных экстрактов мицелия базидиомицетов

Базидиомицет	Содержание в мицелии соединений растворимых в этаноле, %	Содержание фенольных соединений, мг эквивалентов ГК/г этанольного экстракта	Антиоксидантные свойства (EC_{50}), мг/мл	
			хелатирующая способность по отношению к Fe^{2+}	антирадикальная активность по отношению к ДФПГ
<i>G.lucidum</i>	33,10	12,13±1,11	1,14±0,17	1,15±0,06
<i>F.velutipes</i>	33,48	13,30±0,28	1,45±0,28	1,64±0,05
<i>H.erinaceus</i>	22,80	15,98±3,62	2,11±0,13	0,65±0,02

фракция водорастворимых полисахаридов *F.velutipes* (2,33 мг/мл), в то время как хелатирующая способность водорастворимых полисахаридов *H.erinaceus* была существенно ниже.

Антирадикальная активность не была обнаружена ни у одного из исследованных образцов водорастворимых полисахаридов из мицелия базидиомицетов (см. табл. 1). В литературе имеются данные об антирадикальной активности водорастворимых полисахаридов *G.lucidum*, *Lentinus edodes*, *Trametes versicolor* и *Schizophyllum commune*, выделенных из их плодовых тел [16, 17]. Поскольку максимальный эффект был получен при изучении фракции полисахаридов *G.lucidum*, содержащей наибольшее количество β -глюканов, авторы предположили, что антирадикальная активность обусловлена наличием во фракциях полисахаридов этих соединений. Таким образом, для дальнейшей работы требуется детальное изучение состава суммарных полисахаридных фракций базидиомицетов.

Этанольные экстракты базидиомицетов показали широкий спектр антиоксидантных свойств, проявив активность в опытах с использованием всех трёх методов. Наибольшая хелатирующая способность по отношению к ионам двухвалентного железа, как и в случае высокомолекулярных метаболитов, была отмечена у этанольных экстрактов мицелия *G.lucidum* и *F.velutipes* и превышала эффективность ЭДТА- Na_2 (табл. 2). Максимальное значение антирадикальной активности было получено при исследовании экстракта мицелия *H.erinaceus*, содержащего в 1 г 15,98 мг эквивалентов галловой кислоты. Показатель EC_{50} данного образца составил 0,65 мг/мл и был сопоставим со значением EC_{50} аскорбиновой кислоты (0,10 мг/мл). Величина антирадикальной активности коррелировала с содержанием фенольных соединений в экстрактах базидиомицетов.

На рис. 2 представлены результаты эксперимента по окислению олеиновой кислоты в присутствии этанольных экстрактов погруженного мицелия базидиомицетов. Этанольный экстракт *F.velutipes*, ранее проявивший наименьшую антирадикальную активность, оказался не способен эффективно ингибировать процесс окисления олеиновой кислоты, о чем свидетельствует увеличение концентрации гидропероксидов на кинетической кривой. Полное ингибирование процесса окисления олеиновой кислоты было отмечено для экстрактов *G.lucidum* и *H.erinaceus*, однако только в присутствии экстракта *H.erinaceus*, было отмечено снижение концентрации гидропероксидов, находящихся в олеиновой кислоте на начальный момент времени. Способность к деструкции гидропероксидов делает *H.erinaceus* перспектив-

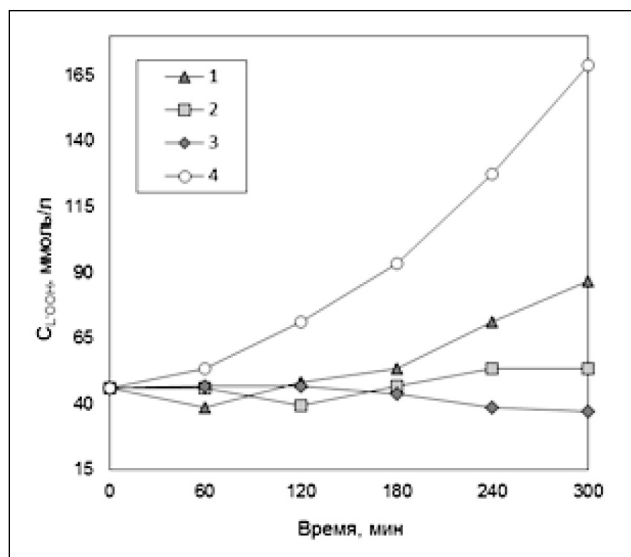


Рис. 2. Кинетические кривые накопления гидропероксидов при окислении олеиновой кислоты при 60°C в присутствии экстрактов мицелия (1 мг/мл) *F.velutipes* (1), *G.lucidum* (2), *H.erinaceus* (3) и без добавления экстрактов (4).

ным продуцентом метаболитов с мембранопротекторными свойствами.

Выводы

1. Обнаружены антиоксидантные свойства у метаболитов из погруженного мицелия *F.velutipes*, *G.lucidum*, *H.erinaceus*: водорастворимых полисахаридов и низкомолекулярных соединений, растворимых в этаноле.

2. Водорастворимые полисахариды из мицелия изученных штаммов базидиомицетов способны хелатировать ионы двухвалентного железа. Максимальная хелатирующая способность отмечена у полисахаридов *G.lucidum*, причём величина EC_{50} данного образца превышала эффективность ЭДТА- Na_2 . Фракции полисахаридов, полученные в условиях эксперимента, не показали антирадикальной активности.

3. Этанольные экстракты мицелия изученных штаммов базидиомицетов обладают широким спектром антиоксидантных свойств. Наибольшую хелатирующую способность проявил этанольный экстракт *G.lucidum*, наименьшую — *H.erinaceus*. В то же время антирадикальная активность экстракта *H.erinaceus* значительно превышала активность экстрактов *G.lucidum* и *F.velutipes* и была сопоставима с активностью аскорбиновой кислоты. Исследование ингибирующей способности этанольных экстрактов на процесс окисления олеиновой кислоты показало, что *H.erinaceus* является перспективным продуцентом веществ, способных к деструкции гидропероксидов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Dasgupta A., Klein K. Antioxidants in Food, Vitamins and Supplements: Prevention and Treatment of Disease. Academic Press 2014; 344.
2. Palacio C., Mooradian A.D. Clinical trials and antioxidant outcomes. Oxidative Stress and Antioxidant Protection: The Science of Free Radical Biology and Disease 2016; 493–506.
3. Christofidou-Solomidou M., Muzykantsov V.R. Antioxidant strategies in respiratory medicine. Treatments in respiratory medicine 2006; 5: 1: 47–78.
4. Gorrini C., Harris I.S., Mak T.W. Modulation of oxidative stress as an anti-cancer strategy. Nature reviews Drug discovery 2013; 12: 12: 931–947.
5. Горошко О.А., Кукес В. Г., Прокофьев А.Б., Архипов В.В. и Демченкова Е. Ю. Клинико-фармакологические аспекты применения антиоксидантных лекарственных средств. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований 2016; 4: 5: 905–912. / Goroshko O.A., Kukes V. G., Prokofev A.B., Arkhipov V.V. i Demchenkova E. Ju. Kliniko-farmakologicheskie aspekty primenenija antioksidantnykh lekarstvennykh sredstv. Mezhdunarod zhurn prikladnykh i fundamental'nykh issledovanij 2016; 4: 5: 905–912. [in Russian]
6. Воронина Т. А. Мексидол. Основные нейрорепродуктивные эффекты и механизм действия. Фарматека 2009; 180: 6: 1–4. / Voronina T. A. Meksidol. Osnovnyye nejropsikhotropnyye jeffekty i mekhanizm dejstvija. Farmateka 2009; 180: 6: 1–4. [in Russian]
7. Маркевич П.С., Маркевич Л.Б., Даниленко С.В., Плеханов А.Н. Опыт применения препарата «Цитофлавин» у больных синдромом диабетической стопы. Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения РАНМ 2013; 2: 90: 34–37. / Markevich P.S., Markevich L.B., Danilenko S.V., Plekhanov A.N. Opyt primenenija preparata «Citoflavin» u bol'nykh sindromom diabeticheskoj stopy. Bjulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo centra Sibirskogo otdelenija RAMN 2013; 2: 90: 34–37. [in Russian]
8. Автономова А.В., Леонтьева М.И., Исакова Е.Б., Белицкий И.В., Усов А.И., Бухман В.М., Лапин А.А., Краснопольская Л.М. Противоопухолевые и антиоксидантные свойства полисахаридных экстрактов и фракций биомассы базидиомикета *Hypsizygus ulmarius*, полученной путем глубокого культивирования. Биотехнология 2008; 2: 23–29. / Avtomotova A.V., Leont'eva M.I., Isakova E.B., Belickij I.V., Usov A.I., Bukhman V.M., Lapin A.A., Krasnopol'skaja L.M. Protivoopukholevye i antioksidantnye svojstva polisaharidnykh jekstraktov i frakcij biomassy bazidiomiceta *Hypsizygus ulmarius*, poluchenoj putem glubinnogo kul'tivirovanija. Biotehnologija 2008; 2: 23–29. [in Russian]
9. Краснопольская Л.М., Шуктуева М.И., Автономова А.В., Ярина М.С., Джавахян Б.Р., Исакова Е.Б., Бухман В.М. Противоопухолевые и антиоксидантные свойства водорастворимых полисахаридов из мицелия базидиального гриба *Flammulina velutipes*. Антибиотики и химиотерапия 2016; 61: 11–12. / Krasnopol'skaja L.M., Shuktuева M.I., Avtomotova A.V., Jarina M.S., Dzjavakhjan B.R., Isakova E.B., Bukhman V.M. Protivoopukholevye i antioksidantnye svojstva vodorastvorimykh polisaharidov iz micelija bazidial'nogo гриба *Flammulina velutipes*. Antibiotiki i khimioter 2016; 61: 11–12. [in Russian]
10. Ярина М.С., Автономова А.В., Шуктуева М.И., Лапин А.А., Краснопольская Л.М. Антиоксидантные свойства погруженного мицелия базидиального гриба *Ganoderma lucidum*. Актуальные проблемы нанобиотехнологии и инноваций с нетрадиционными природными ресурсами и создания функциональных продуктов 2013: 26–29. / Jarina M.S., Avtomotova A.V., Shuktuева M.I., Lapin A.A., Krasnopol'skaja L.M. Antioksidantnye svojstva pogruzhennogo micelija bazidial'nogo гриба *Ganoderma lucidum*. Aktual'nye problemy nanobiotehnologii i innovacij s netradicionnymi prirodnyimi resursami i sozdanija funkcional'nykh produktov 2013: 26–29. [in Russian]
11. Автономова А.В., Краснопольская Л.М., Максимов В.Н. Оптимизация состава питательной среды для погруженного культивирования *Ganoderma lucidum* (Curt.: Fr.) P. Karst. Микробиология 2006; 75: 2: 186–192. / Avtomotova A.V., Krasnopol'skaja L.M., Maksimov V.N. Optimizacija sostava pitatel'noj sredy dlja pogruzhennogo kul'tivirovanija *Ganoderma lucidum* (Curt.: Fr.) P. Karst. Mikrobiologija 2006; 75: 2: 186–192. [in Russian]
12. Шуктуева М.И., Автономова А.В., Масютин Я.А., Новиков А.А., Краснопольская Л.М. Погруженное культивирование *Flammulina velutipes* и химический состав мицелия. Башкирский хим журнал 2011; 18: 4: 144–148. / Shuktuева M.I., Avtomotova A.V., Masjutin Ja.A., Novikov A.A., Krasnopol'skaja L.M. Pogruzhennoe kul'tivirovanie *Flammulina velutipes* i khimicheskij sostav micelija. Bashkirkij khimicheskij zhurnal 2011; 18: 4: 144–148. [in Russian]
13. Barros L., Falcão S., Baptista P., Freire C., Vilas-Boas M., Ferreira I.C. Antioxidant activity of *Agaricus* sp. mushrooms by chemical, biochemical and electrochemical assays. Food Chemistry 2008; 111: 1: 61–66.
14. Dinis T. C. P., Madeira V. M. C., Almeida L. M. Action of phenolic derivatives (acetaminophen, salicylate, and 5-aminosalicylate) as inhibitors of membrane lipid peroxidation and as peroxyl radical scavengers. Arch of Biochem Biophys 1994; 315: 1: 161–169.
15. Smolyaninov I. V., Antonova N. A., Poddel'sky A. I., Smolyaninova S. A., Osipova V. P., Berberova N. T. Radical scavenging activity of sterically hindered catechol and o-amidophenolate complexes of LSbVPh3 type. J Organometallic Chem 2011; 696: 13: 2611–2620.
16. Kozarski M., Klaus A., Nikšić M., Vrvic M. M., Todorović N., Jakovljević D., Van Griensven L. J. Antioxidative activities and chemical characterization of polysaccharide extracts from the widely used mushrooms *Ganoderma applanatum*, *Ganoderma lucidum*, *Lentinus edodes* and *Trametes versicolor*. J Food Composition and Analysis 2012; 26: 1: 144–153.
17. Klaus A., Kozarski M., Nikšić M., Jakovljević D., Todorović N., Van Griensven L. J. Antioxidative activities and chemical characterization of polysaccharides extracted from the basidiomycete *Schizophyllum commune*. LWT-Food Science and Technology 2011; 44: 10: 2005–2011.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Альмяшева Н.Р. — инженер, лаборатория биосинтеза биологически активных соединений ФГБНУ «НИИНА им. Г. Ф. Гаузе», Москва

Ярина М.С. — научный сотрудник, лаборатория биосинтеза биологически активных соединений ФГБНУ «НИИНА им. Г. Ф. Гаузе», Москва

Гольщикин А.В. — инженер, лаборатория биосинтеза биологически активных соединений ФГБНУ «НИИНА им. Г. Ф. Гаузе», Москва

Джавахян Б.Р. — лаборант-исследователь, лаборатория биосинтеза биологически активных соединений ФГБНУ «НИИНА им. Г. Ф. Гаузе», Москва

Краснопольская Л.М. — д.б.н., зав. лабораторией биосинтеза биологически активных соединений ФГБНУ «НИИНА им. Г. Ф. Гаузе», Москва