

Биодеградация растительных отходов и получение плодовых тел при культивировании ежевика гребенчатого (*Hericium erinaceus*)

© 2018. А. А. Широких^{1,2}, д. б. н., профессор, в. н. с., Ю. А. Злобина², аспирант, И. Г. Широких^{1,2,3}, д. б. н., профессор, зав. лабораторией, в. н. с.,
¹Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока, 610007, Россия, г. Киров, ул. Ленина, 166а,
²Вятский государственный университет, 610000, Россия, г. Киров, ул. Московская, 36,
³Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 167982, Россия, г. Сыктывкар, ул. Коммунистическая, 28,
 e-mail: aleshirokikh@yandex.ru

Разработка технологий биодеградации растительных отходов в целях получения новых полезных продуктов способна не только уменьшить загрязнение окружающей среды, но и обеспечить сырьевую базу биотехнологии. В работе изучали возможность применения базидиального ксилотрофного гриба *Hericium erinaceus* в качестве деструктора растительных отходов с одновременным получением хозяйственно ценной вторичной продукции. В качестве питательного субстрата для получения плодовых тел гриба использовали смеси соломы, дубовых опилок и зерна овса в различных соотношениях. Продуктивность сырого уплотнённого субстрата рассчитывали как отношение массы плодовых тел грибов, получаемых с одного сосуда, к исходной массе субстрата. Об интенсивности разложения субстрата судили по убыли его биомассы за период культивирования гриба. Показано, что для достижения высокой степени биодеградации целлюлозо- и лигнин-содержащих отходов и получения максимального урожая грибов в состав питательного субстрата необходимо включать легкогидролизуемый зерновой компонент в количестве не менее 30 об. %. Изменяя концентрацию зерна, можно регулировать скорость роста мицелия, выход плодовых тел гриба и степень биодеградации субстрата.

Ключевые слова: *Hericium erinaceus*, лигноцеллюлозные отходы, искусственное культивирование, питательный субстрат, урожай плодовых тел, плодоотдача субстрата, степень разложения.

Biodegradation of vegetable waste and obtaining fruit bodies in cultivation of *Hericium erinaceus*

© 2018. А. А. Shirokikh^{1,2} ORCID: 0000-0002-7808-0376, Yu. A. Zlobina² ORCID: 0000-0002-0949-1403, I. G. Shirokikh^{1,2,3} ORCID: 0000-0002-3319-2729,
¹Federal Scientific Agricultural Center of the North-East, 166a, Lenina St., Kirov, Russia, 610007,
²Vyatka State University, 36, Moskovskaya St, Kirov, Russia, 610000,
³Institute of Biology of the Komi Science Centre of the Ural Division RAS, 28, Kommunisticheskaya St., Syktyvkar, Republic of Komi, Russia, 167982,
 e-mail: aleshirokikh@yandex.ru

Development of technologies for biodegradation of plant wastes in order to obtain new useful products can not only reduce pollution of the environment, but also provide a raw material base for biotechnology. The possibility of using the basidial xylophilic fungus *Hericium erinaceus* as a destructor of plant wastes with simultaneous production of economically valuable secondary products was studied. As a nutrient substrate for the production of fruiting bodies of the fungus, mixtures of straw, oak sawdust and oat grain were used in various proportions. The productivity of the raw compacted substrate was calculated as the ratio of the mass of fruiting bodies of fungi obtained from one vessel to the initial mass of the substrate. The intensity of decomposition of the substrate was judged by the decrease in its biomass during the period of cultivation of the fungus. It is shown that in order to achieve a high degree of biodegradation of cellulose and lignin-containing waste and to obtain the maximum harvest of fungi, it is necessary to include a readily hydrolysable grain component in an amount of not less than 30% by volume in the nutrient substrate. By varying the concentration of the grain, it is possible to regulate the growth rate of the mycelium, the yield of the fruiting bodies and the degree of biodegradation of the substrate.

Keywords: *Hericium erinaceus*, lignocellulosic waste, artificial cultivation, nutrient substrate, yield of fruit bodies, productivity of substrate, degree of decomposition.

Биоконверсия растительных отходов сельского хозяйства и лесной промышленности представляет собой одну из важнейших проблем охраны окружающей среды, чем и определяется неослабевающий интерес к организмам-деструкторам целлюлозы и лигнина – наиболее трудноразлагаемым компонентам растительных остатков. Переработка целлюлозосодержащих отходов биологическими способами с получением практически полезных продуктов позволяет не только существенно уменьшить загрязнение окружающей среды, но и расширить сырьевую базу биотехнологии по производству биологически активных добавок, пищевых продуктов и кормов [1, 2]. Подобные разработки невозможны без поиска новых штаммов-деструкторов целлюлозы и лигнина, обладающих соответствующим метаболическим потенциалом.

С этой точки зрения особый интерес вызывают высшие базидиальные грибы, которые являются существенной частью наземных экосистем и важным звеном круговорота углерода в природе. Участвуя в конвейерном разложении растительного опада, базидиальные грибы продуцируют широкий спектр внеклеточных ферментов гидролитического и оксидоредуктазного профиля, что позволяет им утилизировать большой круг различных субстратов. Среди всего разнообразия базидиомицетов следует выделить дроворазрушающие или ксилотрофные грибы – сравнительно небольшую по таксономическому разнообразию экологическую группу грибов, способную к полной деградации лигноцеллюлоз [3]. Многие виды ксилотрофных грибов известны также как продуценты пищевого белка и биологически активных веществ [4, 5].

Одним из интересных представителей агарикоидных ксилотрофных грибов является ежевик гребенчатый (*Hericium erinaceus*) – трутовик, относящийся к порядку Russulaceae. Гриб встречается в Европе, Азии, Америке, но повсеместно является редким видом, занесён в Красную книгу Российской Федерации и нуждается в охране [6, 7]. Ежевик относят к съедобным и лекарственным грибам, его широко применяют в народной медицине стран Дальнего Востока. В последние годы в составе плодовых тел и культивируемого мицелия *H. erinaceus* были обнаружены метаболиты, способные оказывать нейротрофное, гиполипидемическое, иммуномодулирующее и цитотоксическое (в отношении опухолевых клеток) действие на организм человека [7–11]. В связи с этим представляет интерес изуче-

ние возможности применения *H. erinaceus* в качестве деструктора растительных отходов с одновременным получением хозяйственно ценной вторичной продукции.

Методические основы культивирования грибов могут различаться в зависимости от региональных особенностей сельскохозяйственного производства и лесной промышленности. Набор доступных для выращивания гриба субстратов (он же – состав растительных отходов) изменяется в зависимости от конкретной природно-растительной зоны и почвенно-климатических условий [12].

В данной работе оценивали перспективы получения урожая плодовых тел гриба *H. erinaceus* в процессе утилизации отходов сельскохозяйственного производства и лесной промышленности в подзоне южной тайги Северо-Востока Европейской части России.

Объекты и методы

В качестве объекта исследования служила мицелиальная культура *H. erinaceus*, предварительно изолированная из плодового тела гриба, выросшего на стволе поваленного дуба в грабово-кисличной дубраве на территории Национального парка «Беловежская пуща» (52°29'–52°57' с. ш.; 23°21'–24°21' в. д., Беларусь).

Природный изолят был получен методом культуры ткани на сусло-агаре (4Б). При культивировании штамм характеризовался хорошей способностью к плодообразованию: по периферии колоний через 18–20 суток роста начинали появляться примордии, а затем формировались небольшие плодовые тела базидиомы. При микроскопировании мицелия наблюдали характерные для базидиомицетов структуры [13]: пряжки, бластоконидии, артроконидии – фрагменты конидиальных гиф, расположенные цепочками, хламидоспоры – интеркалярные, толстостенные клетки, расположенные на недифференцированных гифах (рис. 1, см. цв. вкладку).

Стерильный посевной мицелий ежевика выращивали в автоклавированных стеклoбанках, объёмом 0,25 л, заполненных распаренным зерном овса, покрытых двумя слоями пищевой алюминиевой фольги. При поверхностной инокуляции зарастание зерна грибницей на глубину банки – 10 см – происходило на 15-е сутки выращивания при комнатной температуре (20±2 °С) и на 20-е при выращивании при 28 °С в термостате.

В качестве питательного субстрата для получения плодовых тел гриба использовали смеси соломы, дубовых опилок и зерна овса в различных соотношениях: 1) опилки 50 об.%; солома 50 об.%; 2) опилки 50 об.%; зерно 10 об.%; солома 40 об.%; 3) опилки 20 об.%; зерно 20 об.%; солома 60 об.%; 4) опилки 10 об.%; зерно 30 об.%; солома 60 об.%

Опыты закладывали в стеклoбанках, объёмом 0,5 л. Фасовку субстрата по вариантам проводили на площадочных весах (точность учёта 10 г), учёт урожая грибов – на весах ВЛТК-500 (точность учёта 0,1 г). Масса сырого питательного субстрата, при достаточно плотной набивке, составляла 170 г на 1 стеклoбанку. Повторность вариантов в опытах 5-ти кратная.

Для получения в банках питательных субстратов, свободных от контаминации посторонней микрофлорой, проводили стерилизацию путём автоклавирования (0,5 час при избыточном давлении 1,0 атм.). В стерильных условиях субстрат инокулировали зерновым посевным мицелием в количестве 5% от массы субстрата. Заращивание субстрата и плодоношение происходило при комнатной температуре (20 ± 2 °C). На 7-е, 14-е, 20-е и 30-е сут культивирования оценивали плотность обрастания субстрата мицелием по 6-ти балльной шкале: 0 – мицелий на субстрате отсутствует; 1 – мицелий очень редкий, плохо различимый невооружённым глазом; 2 – мицелий редкий, просвечивающийся, хорошо виден субстрат; 3 – мицелий средней плотности, субстрат различим; 4 – мицелий плотный, субстрат еле-еле различим; 5 – мицелий плотный, субстрат не различим [12]. На 48-е, 68-е и 83-и сут культивирования собирали плодовые тела ежевика и определяли их влажную и сухую биомассу.

Об интенсивности разложения субстрата грибом судили по убыли сухой биомассы субстрата за период культивирования гриба.

Продуктивность (П, %) или плодоточность сырого (влажность – $76 \pm 1\%$) уплотнённого субстрата рассчитывали как отношение массы плодовых тел грибов, получаемых с одного сосуда в отдельных волнах или суммарно, к исходной массе субстрата, выраженное в процентах:

$P, \% = M \text{ плодовых тел} : M \text{ влажного субстрата в банке} - 100\%$ [14]. Статистическую обработку результатов проводили стандартными методами с использованием встроенного пакета программ EXCEL.

Результаты и их обсуждение

В природе ежевик гребенчатый растёт на древесине лиственных пород, а при искусственном культивировании – на смеси опилок, соломы, фуражного зерна. Основной компонент субстрата (около 70%) – питательные целлюлозосодержащие сельскохозяйственные отходы [12]. В первые две недели интенсивного культивирования ежевика в стерильных условиях скорость колонизации субстрата была низкой (рис. 2, см. ветную вкладку). К 7-м сут слабый рост мицелия отмечался только в варианте с включением в состав питательного субстрата 30% овсяного зерна. В этом варианте на 14 сут и во все последующие сроки наблюдения отмечали максимальную плотность мицелия, а минимальную – на субстрате, состоящем только из опилок и соломы. Варианты с добавлением в питательный субстрат зерна в количестве 10 и 20% различались между собой сначала незначительно. Начиная с 14 сут, большей плотностью мицелиального обрастания отличался субстрат, содержащий в составе 20% овсяного зерна. Полная колонизация субстрата мицелием (6 баллов) завершилась к 30 сут культивирования гриба в варианте с 30%-ным содержанием зерна, тогда как плотность обрастания субстрата в варианте без добавления зерна, к этому времени, всё ещё не превышала 3-х баллов. Таким образом, для интенсивного культивирования гериция необходимым компонентом питательной смеси, наряду с соломой и древесными опилками, является легкогидролизуемый субстрат – зерно (30 об.%).

На 36 сут после инокуляции субстрата было отмечено появление зачаточных примордиев, а ещё через 9–12 сут завершилось формирование технически зрелых плодовых тел белого цвета, иногда с кремовым или розовым оттенком. Плодовые тела *H. erinaceus* первой «волны» – нежные, округлой формы, максимальный диаметр 5–6 см, масса одного из плодовых тел достигала в опыте 16,98 г. Вторую волну плодоношения наблюдали через 20, третью – через 15 суток. Всего было отмечено три волны плодоношения.

Как следует из таблицы 1, наиболее высокий суммарный урожай плодовых тел ($38,40 \pm 2,07$ г) получен на субстрате, состоящем из 10% дубовых опилок, 30% овсяного зерна и 60% овсяной соломы. На субстрате из опилок и соломы, без добавления зерна, урожай плодовых тел оказался в 6,2 раза ниже, т. е. был самым низким в опыте ($6,20 \pm 0,51$ г).

Таблица 1 / Table 1

Сравнительная продуктивность *H. erinaceus* при интенсивном культивировании на питательных субстратах различного состава / Comparative productivity of *H. erinaceus* with intensive cultivation on nutrient substrates of different composition

Номер волны плодоношения: сут Fruit wave number: day	Урожай грибов по вариантам субстрата (количество зерна в составе смеси, об. %) / Harvesting of mushrooms according to the variants of the substrate (amount of grain in the mixture, vol.%)			
	0	10	20	30
1-я/1-st 48	2,40±0,53	4,50±1,10	4,30±0,90	15,20±1,19
	0,30±0,07	0,50±0,11	0,50±0,10	1,90±0,18
2-я/2-nd: 68	2,50±0,57	5,60±1,12	9,10±0,86	15,60±1,34
	0,30±0,04	0,60±0,11	1,00±0,12	1,50±0,39
3-я/3-th: 83	1,40±0,43	3,10±0,77	3,90±1,00	7,50±3,68
	0,17±0,05	0,350±0,086	0,62±0,11	0,84±0,41
Суммарно Totally	6,20±0,51	13,20±0,99	17,30±0,92	38,40±2,07
	0,70±0,05	1,50±0,11	1,90±0,11	4,20±0,29

Примечание: в числителе – сырая масса, в знаменателе – сухая масса, г.
Note: in the numerator – the raw mass, in the denominator – dry mass, g.

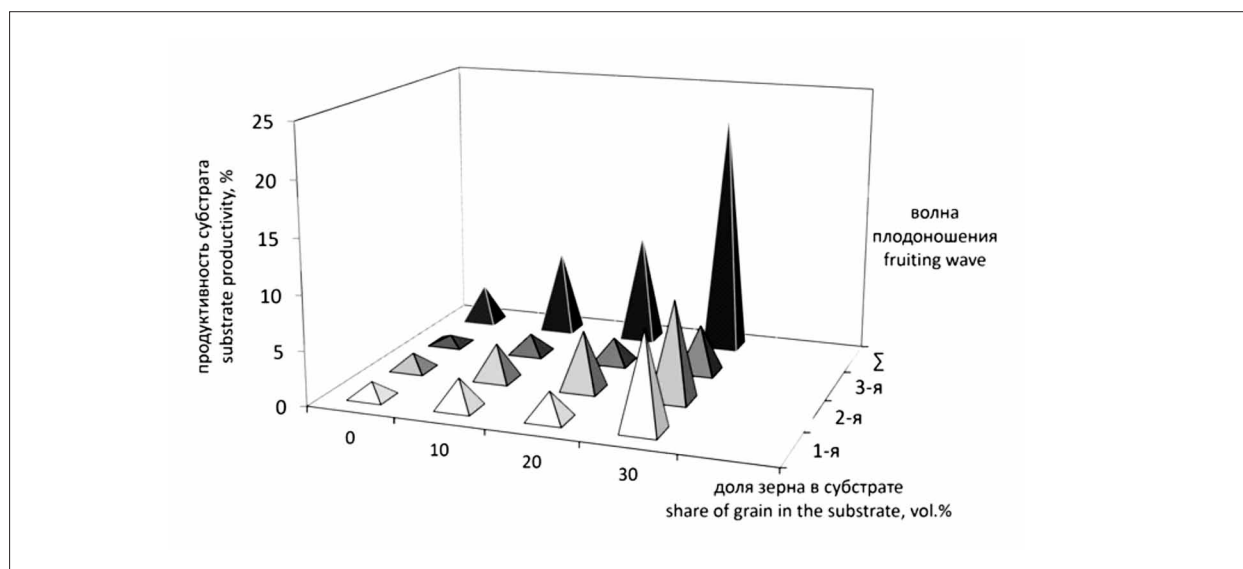


Рис. 3. Плодоотдача сырого субстрата (%) с различным насыщением зерном овса при выращивании *H. erinaceus*

Fig. 3. Fruit yield of a raw substrate (%) with different grain saturation of oats during the growth of *H. erinaceus*

При добавлении в состав питательной смеси 10 об.% зерна и увеличении его доли до 30 об.% урожайность возрастала, особенно значительно в последнем варианте. Субстраты, содержащие 10 и 20 об.% зерновой добавки, по выходу плодовых тел между собой существенно не различались. Урожайность гриба в этих вариантах была в 4 раза ниже, чем в варианте с добавлением 30 об.% зерна, но в 2 раза выше, чем на субстрате, состоящем только из опилок и соломы, без введения легкогидролизуемой «затравки» в виде овсяного зерна.

Вторая волна плодоношения гриба характеризовалась по сравнению с первой более высоким выходом биомассы плодовых тел. Урожайность увеличивалась во всех вариантах, но наиболее значительно (более чем в 2 раза) – в варианте с добавлением 20 об.% зерна (9,10±0,86 г).

Урожай плодовых тел третьей волны плодоношения гериция уступал первым двум волнам в 1,2–2,0 раза, в зависимости от состава питательного субстрата. Особенно значительно, по сравнению с урожаем первой волны,

снизились выход плодовых тел гриба в варианте с 30 об.% зерна.

Анализируя полученные данные по выращиванию плодовых тел *H. erinaceus* на питательных субстратах с различным содержанием зерна, можно заключить, что наличие в составе субстрата легкогидролизуемой «затравки» – обязательное условие эффективной колонизации и формирования плодовых тел гриба.

Важным показателем при интенсивном культивировании грибов является продуктивность (П%) или плодоточность сырого (влажность 77±1%) уплотнённого субстрата. Этот показатель (для отдельных «волн» плодоношения и суммарный) приведён на рисунке 3.

Как следует из данных рисунка 3, плодоточность субстрата в каждой из волн плодоношения изменялись в зависимости от состава питательной смеси, возрастая пропорционально доле зерна в субстрате от 0,8–1,5% в варианте без зерновой добавки до 4,4–9,1% в варианте с добавлением 30 об.% зерна овса. В процессе культивирования гриба, по мере снижения концентрации в субстрате легкогидролизуемого компонента, различия между вариантами по этому показателю сглаживались. Так, различия между двумя крайними вариантами в период 3-й волны плодоношения не превышали 5,5 раз, тогда как во время 1-й волны они составляли 6,4 раза.

При искусственном культивировании все необходимые для роста вещества ежевик извлекает из субстратов за счёт их ферментативного разложения комплексом целлюлаз. Часть углерода, получаемого при деградации субстрата, расходуется на синтез грибной биомассы, а другая часть, в процессе дыхания, выделяется в виде углекислого газа [15]. В результате этих процессов биомасса субстрата уменьшается. Таким образом, по убыли био-

массы субстрата можно судить о степени его разложения. [15]

В процессе культивирования гриба на смеси дубовых опилок и соломы в равных соотношениях (вар. 1) масса исходного субстрата снизилась всего на 17,3 г, т. е. степень разложения составила 10% (табл. 2).

Варианты 2 и 3, с добавлением овсяного зерна в количестве 10 и 20 об.% соответственно, по убыли биомассы субстрата и степени его разложения между собой значимо не различались, превысив вариант 1 всего на 6–7%. Наибольшей деградации за период наблюдений подвергся субстрат в варианте 4, который содержал 10 об.% дубовых опилок, 30 об.% овсяного зерна и 60 об.% соломы. Масса исходного субстрата снизилась в этом варианте на 51,7 г, а степень разложения растительных отходов составила 34%.

Полученные результаты показывают, что при культивировании ксилотрофного гриба *H. erinaceus*, для достижения высокой степени биодеградации целлюлозо- и лигнинсодержащих отходов и получения максимального урожая плодовых тел в состав питательного субстрата необходимо включать легкогидролизуемый зерновой компонент в количестве не менее 30 об.%. Изменяя концентрацию зерна, можно регулировать скорость роста мицелия, выход биомассы плодовых тел и степень биодеградации субстрата. Вероятно, зерновой компонент субстрата служит специфической затравкой, которая запускает у гриба синтез ферментативного комплекса целлюлаз.

Заключение

В процессе культивирования гриба *H. erinaceus* можно решить не только вопрос получения пищевого продукта в виде плодовых

Таблица 2 / Table 2
Степень биодеградации субстратов в результате культивирования *H. erinaceus*
The degree of biodegradation of substrates resulting from the cultivation of *H. erinaceus*

Вариант Variant	Масса субстрата после культивирования гриба, г Mass of the substrate after cultivation of the fungus, g	Убыль субстрата, г Loss of substrate, g	Степень разложения субстрата, % Degree of decomposition of the substrate, %
1	153,0±2,6	17,3	10
2	142,0±4,2	28,2	16
3	140,0±5,2	29,3	17
4	118,0±3,0	51,7	34

Примечание: обозначения вариантов как на рисунке 1.
Note: the designations of the options are as in Figure 1.

тел и биологически активных субстанций, но и такую актуальную проблему, как утилизация целлюлозо- и лигнинсодержащих отходов сельского хозяйства и лесной промышленности. Благодаря обогащению малоценных грубых растительных отходов грибным белком, отработанный субстрат может стать хорошей кормовой добавкой для сельскохозяйственных животных и птицы, а также перспективной субстанцией для обогащения почвы органическим веществом. Таким образом, искусственное выращивание ежовика гребенчатого может внести вклад в решение проблемы отходов сельского хозяйства и лесной промышленности с одновременным получением хозяйственно ценной продукции.

Выполнено в рамках Программы ФНИ государственных академий наук на 2013–2020 гг. по теме № 0767-2018-0012 «Изучить потенциал полифункционального действия мицелиальных микроорганизмов в региональных типах почв с целью создания новых препаратов для повышения адаптивности и экологической безопасности растениеводства и защиты окружающей среды от загрязнений».

Литература

1. Perez J., Munoz-Dorado J., De La Rubia T., Martinez J. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview // *Int. Microbio.* 2002. V. 5. P. 53–63.
2. Soliman S. A., El-Zawahry Y. A., El-Moughith A. A. Fungal Biodegradation of Agro-Industrial Waste. 2013. licensee In-Tech [Internet resource] <http://dx.doi.org/10.5772/56464> (Accessed: 05.07.2018).
3. Мухин В.А. Биота ксилотрофных базидиомицетов Западно-Сибирской равнины. Екатеринбург: Наука. 2003. 231 с.
4. Лобанок А.Г., Бабицкая В.Г., Богдановская Ж.Н. Микробный синтез на основе целлюлозы: белок и другие ценные продукты. Минск: Наука и техника, 1988. 260 с.
5. Заикина Н.А. Основы биотехнологии высших грибов: учебное пособие. СПб.: Проспект науки, 2007. 336 с.
6. Гарибова Л.В. Грибы // Красная книга РФ (растения и грибы). М.: Товарищество научных изданий КМК, 2008. С. 753–782.
7. Бухало А.С., Бабицкая В.Г., Бисько Н.А., Вассер С.П., Дудка И.А., Митропольская Н.Ю., Михайлова О.Б., Негрейко А.М., Поединок Н.Л., Соломко Э.Ф. Биологические особенности лекарственных макромицетов в культуре: Сборник научных трудов в двух томах. Т. 1 / Под ред. С.П. Вассера. Киев: Альтерпрес, 2011. 212 с.

8. Wang J.C. Hu S.H., Lee T.M. Antitumor and immunoenhancing activities of polysaccharide from culture broth of *Hericium* spp. // *Kaoshing J. Med. Sci.* 2001. V. 17. No. 9. P. 461–467.

9. Shimbo M., Kawagishi H., Yokogoshi H. Erinacine A increases catecholamine and nerve growth factor content in the central nervous system of rats // *Nutrition Research.* 2005. V. 25. No. 6. P. 617–623.

10. Krzyczkowski W., Malinowska E., Herold F. Erinacine A biosynthesis in submerged cultivation of *Hericium erinaceum*: quantification and improved cultivation // *Engineering in Life Sciences.* 2010. V. 10. No. 5. P. 446–457.

11. Zhanga Z., Lva G., Pana H., Pandeyb A., Hec W. Antioxidant and hepatoprotective potential of endopolysaccharides from *Hericium erinaceus* grown on tofu whey // *J. Biological Macromolecules.* 2012. V. 51. No. 5. P. 1140–1146.

12. Трухоновец В.В., Бисько Н.А., Поединок Н.Л., Михайлова О.Б., Митропольская Н.Ю., Колодий Т.А., Булавкина И.А., Плащинская Д.В. Рост и плодоношение базидиального гриба *Hericium erinaceus* (Bull.: Fr.) на растительных субстратах // Труды БГТУ. Лесное хозяйство. 2012. № 1. С. 277–281.

13. Гарибова Л.В., Лекомцева С.Н. Основы микологии. Морфология и систематика грибов и грибоподобных организмов. М.: Товарищество научных изданий КМК. 2005. 220 с.

14. Анненков Б.Г., Азарова В.А., Ищенко Е.А. Методические основы интенсивного выращивания гериция ежовикового // Дальневосточный аграрный вестник. 2015. № 2 (34). С. 5–13.

15. Ильина Г.В., Ильин Д.Ю. Ксилотрофные базидиомицеты в чистой культуре. Пенза: РИО ПГСХА. 2013. 222 с.

References

1. Perez J., Munoz-Dorado J., De La Rubia T., Martinez J. Biodegradation and biological treatments of cellulose, hemicellulose and lignin: an overview // *Int. Microbio.* 2002. V. 5. P. 53–63.
2. Soliman S. A., El-Zawahry Y. A., El-Moughith A. A. Fungal Biodegradation of Agro-Industrial Waste. 2013. licensee In-Tech [Internet resource] <http://dx.doi.org/10.5772/56464> (Accessed: 05.07.2018).
3. Mukhin V.A. Biota of xylophilic basidiomycetes of the West Siberian plain. Ekaterinburg: Nauka. 2003. 231 p. (in Russian).
4. Lobanok A.G., Babitskaya V.G., Bogdanovskaya Zh.N. Microbial synthesis of cellulose-based: protein and other valuable products. Minsk: Nauka i tekhnika, 1988. 260 p. (in Russian).
5. Zaikina N.A. Basics of biotechnology of higher fungi: tutorial. Sankt-Peterburg: Prospekt nauki, 2007. 336 p. (in Russian).

6. Garibova L.V. Mushrooms // Red book of the Russian Federation (plants and mushrooms). Moskva: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK, 2008. P. 753–782 (in Russian).

7. Bukhalo A.S., Babitskaya V.G., Bisko N.A., Vasser S.P., Dudka I.A., Mitropolskaya N.Yu., Mikhaylova O.B., Negreyko A.M., Poyedinok N.L., Solomko E.F. Biological characteristics of medicinal macromycetes in culture: Collection of scientific works in two volumes. V. 1 / Ed. S.P. Vasser. Kiyev: Alterpres, 2011. 212 p. (in Russian).

8. Wang J.C. Hu S.H., Lee T.M. Antitumor and immunoenhancing activities of polysaccharide from culture broth of *Hericiium* spp. // Kaoshing J. Med. Sci. 2001. V. 17. No. 9. P. 461–467.

9. Shimbo M., Kawagishi H., Yokogoshi H. Erinacine A increases catecholamine and nerve growth factor content in the central nervous system of rats // Nutrition Research. 2005. V. 25. No. 6. P. 617–623.

10. Krzyczkowski W., Malinowska E., Herold F. Erinacine A biosynthesis in submerged cultivation of *Hericiium erinaceum*: quantification and improved cultivation // Engineering in Life Sciences. 2010. V. 10. No. 5. P. 446–457.

11. Zhanga Z., Lva G., Pana H., Pandeyb A., Hec W. Antioxidant and hepatoprotective potential of endopolysaccharides from *Hericiium erinaceus* grown on tofu whey // J. Biologocal Macromolecules. 2012. V. 51. No. 5. P. 1140–1146.

12. Trukhonovets V.V., Bisko N.A., Poyedinok N.L., Mikhaylova O.B., Mitropolskaya N.Yu., Kolodiy T.A., Bulavkina I.A., Plashchinskaya D.V. The Growth and fruiting basidiomycetes mushroom *Hericiium erinaceus* (Bull.: Fr.) in vegetable substrates // Trudy BGTU. Lesnoye khozyaystvo. 2012. No. 1. P. 277–281 (in Russian).

13. Garibova L.V., Lekomtseva S.N. Basics of Mycology. Morphology and systematics of fungi and fungal-like organisms. Moskva: Tovarishestvo nauchnykh izdaniy KMK. 2005. 220 p. (in Russian).

14. Annenkov B.G., Azarova V.A., Ishchenko E.A. Methodological foundations of intensive cultivation of hericium // Dalnevostochnyy agrarnyy vestnik. 2015. No. 2 (34). P. 5–13 (in Russian).

15. Ilna G.V., Ilin D.Yu. Xylotrophic basidiomycetes in pure culture. Penza: RIO PGSKhA. 2013. 222 p. (in Russian).