

# ДОКЛАДЫ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ

---

МИНСК. БЕЛОРУССКАЯ НАУКА. 2022. ТОМ 66. № 1

---

Выходит шесть номеров в год

Журнал основан в июле 1957 года

Учредитель – Национальная академия наук Беларуси

Журнал зарегистрирован в Министерстве информации Республики Беларусь,  
свидетельство о регистрации № 387 от 18.05.2009.

*Входит в Перечень научных изданий Республики Беларусь  
для опубликования результатов диссертационных исследований, включен в базу данных  
Российского индекса научного цитирования (РИНЦ)*

Главный редактор

**Владимир Григорьевич Гусаков**

Председатель Президиума Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь

Редакционная коллегия

**А. В. Кильчевский**

заместитель Председателя Президиума Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь  
(заместитель главного редактора)

**Т. П. Петрович**

(ведущий редактор журнала)

**С. В. Абламейко** – Белорусский государственный университет, Республика Беларусь

**П. А. Витязь** – Президиум Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь

**И. Д. Волотовский** – Институт биофизики и клеточной инженерии Национальной академии наук Беларуси,  
Республика Беларусь

**С. В. Гапоненко** – Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований, Республика Беларусь

**А. Я. Григорьев** – Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого Национальной академии  
наук Беларуси, Республика Беларусь

**С. В. Губкин** – Институт физиологии Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь

**А. Е. Дайнеко** – Белорусский национальный технический университет, Республика Беларусь

**Н. Желев** – Абертейский университет, Соединенное Королевство Великобритании и Северной Ирландии

**В. Г. Залесский** – Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь

**А. И. Иванец** – Президиум Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь

**Н. С. Казак** – Научно-производственное объединение «Оптика, оптоэлектроника и лазерная техника»,  
Республика Беларусь

**Н. Н. Казанский** – Институт лингвистических исследований Российской академии наук, Российская Федерация

**С. П. Карпов** – Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Российская Федерация

**С. Я. Килин** – Президиум Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь

(заместитель главного редактора)

**А. А. Коваленя** – Президиум Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь

**В. И. Корзюк** – Белорусский государственный университет, Республика Беларусь

**В. В. Лапа** – Институт почвоведения и агрохимии Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь

**М. Ларссон** – Университетский научный центр Алба Нова Стокгольмского университета, Королевство Швеция

- А. П. Ласковнев** – Физико-технический институт Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь  
**В. Ф. Логинов** – Институт природопользования Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь  
**Г. Маркрам** – Институт мозга, Центр неврологии и технологии Швейцарского федерального института технологий, Швейцария  
**А. А. Махнач** – Институт геологии, Республика Беларусь  
**А. Г. Наумовец** – Институт физики Национальной академии наук Украины, Украина  
**В. А. Орлович** – Институт физики им. Б. И. Степанова Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь  
**В. Н. Пармон** – Российская академия наук, Российская Федерация  
**О. Г. Пенязьков** – Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь  
**И. Д. Рашаль** – Институт биологии Латвийского университета, Латвийская Республика  
**Б. А. Ривжа** – Латвийская академия сельскохозяйственных и лесных наук, Латвийская Республика  
**В. А. Садовничий** – Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова, Российская Федерация  
**А. М. Сергеев** – Российская академия наук, Российская Федерация  
**Н. С. Сердюченко** – Президиум Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь  
**В. И. Торчик** – Президиум Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь  
**А. В. Тузиков** – Объединенный институт проблем информатики Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь  
**Тяу Ван Минь** – Вьетнамская академия наук и технологий, Социалистическая Республика Вьетнам  
**С. А. Усанов** – Президиум Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь  
**Ю. С. Харин** – Научно-исследовательский институт прикладных проблем математики и информатики, Республика Беларусь  
**Л. В. Хотылева** – Институт генетики и цитологии Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь  
**А. Цайлингер** – Австрийская академия наук, Австрийская Республика  
**С. А. Чижик** – Президиум Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь  
(*заместитель главного редактора*)  
**И. П. Шейко** – Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству, Республика Беларусь  
**В. И. Янчевский** – Институт математики Национальной академии наук Беларуси, Республика Беларусь

*Адрес редакции:*

*ул. Академическая, 1, к. 119, 220072, Минск, Республика Беларусь.  
Тел.: +375 17 272-19-19; e-mail: doklady\_nanb@mail.ru  
doklady.belnauka.by*

---

ДОКЛАДЫ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ. 2022. Т. 66. № 1

*Выходит на русском, белорусском и английском языках*

---

Редактор Т. П. Петрович  
Компьютерная верстка Н. И. Кашуба

Сдано в набор 17.02.2022. Выпуск в свет 25.02.2022. Формат 60×84<sup>1</sup>/<sub>8</sub>. Бумага офсетная. Печать цифровая.  
Усл. печ. л. 14,88. Уч.-изд. л. 16,4. Тираж 142 экз. Заказ 28.

Цена: индивидуальная подписка – 12,67 руб.; ведомственная подписка – 29,77 руб.

Издатель и полиграфическое исполнение:

Республиканское унитарное предприятие «Издательский дом «Беларуская навука».

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий  
№ 1/18 от 02.08.2013. ЛП № 02330/455 от 30.12.2013. Ул. Ф. Скорины, 40, 220141, г. Минск.

© РУП «Издательский дом «Беларуская навука».  
Доклады НАН Беларуси, 2022

ISSN 1561-8323 (Print)  
ISSN 2524-2431 (Online)

**ХИМИЯ**  
**CHEMISTRY**

УДК 582.287.238:577.175.1  
<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-1-35-42>

Поступило в редакцию 16.08.2021  
Received 16.08.2021

**О. Н. Жук<sup>1</sup>, Д. А. Слиж<sup>1</sup>, Р. П. Литвиновская<sup>2</sup>, М. А. Томанова<sup>2</sup>,  
член-корреспондент В. Н. Жабинский<sup>2</sup>, академик В. А. Хрипач<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Полесский государственный университет, Пинск, Республика Беларусь

<sup>2</sup>Институт биоорганической химии Национальной академии наук Беларуси, Минск, Республика Беларусь

**ВЛИЯНИЕ БРАССИНОСТЕРОИДОВ НА РАЗВИТИЕ МИЦЕЛИЯ  
БАЗИДИАЛЬНОГО ГРИБА *PLEUROTUS OSTREATUS***

**Аннотация.** Проведенные эксперименты при погруженном культивировании вешенки обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*) показали, что добавление в питательную среду brassinosteroidов и их производных в концентрации 0,05 мг/л значительно увеличивает биомассу мицелия. Установлено, что при использовании 24-эпи- и 28-гомокастастерона при выращивании вешенки в течение 9 суток колония мицелия развивалась только в глубине культуральной жидкости, а мицелий формировался в клубочки с плотной структурой. Добавление салицилатов 24-эпикастастерона и 6-дезоксо-24-эпикастастерона способствовало развитию обширной колонии мицелия как на поверхности, так и в глубине культуральной жидкости. Салицилаты оказывали влияние и на структуру мицелия – медузоподобный рыхлый мицелий наблюдали в колбах со средой, содержащей салицилаты 24-эпи- и 6-дезоксо-24-эпикастастерона. В работе впервые установлено наличие и проведено количественное определение содержания эндогенных brassinosteroidов ряда brassinolида, 24-эпибрассинолида и 28-гомобрассинолида в плодовом теле и мицелии гриба вешенки обыкновенной.

**Ключевые слова:** вешенка обыкновенная (*Pleurotus ostreatus*), brassinosteroidы, салицилаты brassinosteroidов, иммуноферментный анализ

**Для цитирования.** Влияние brassinosteroidов на развитие мицелия базидиального гриба *Pleurotus ostreatus* / О. Н. Жук [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2022. – Т. 66, № 1. – С. 35–42. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-1-35-42>

**Olga N. Zhuk<sup>1</sup>, Darya A. Slizh<sup>1</sup>, Raisa P. Litvinovskaya<sup>2</sup>, Margarita A. Tomanova<sup>2</sup>,  
Corresponding Member Vladimir N. Zhabinskii<sup>2</sup>, Academician Vladimir A. Khripach<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Polessky State University, Pinsk, Republic of Belarus

<sup>2</sup>Institute of Bioorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus, Minsk, Republic of Belarus

**INFLUENCE OF BRASSINOSTEROIDS ON THE DEVELOPMENT  
OF THE MYCELIA OF BASIDIAL MUSHROOM *PLEUROTUS OSTREATUS***

**Abstract.** Experiments on the effect of brassinosteroids and their salicylates on the mycelium biomass during submerged cultivation of oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*) were carried out. It was shown that their addition to the nutrient medium at a concentration of 0.05 mg/l significantly increases the biomass of the mycelium. It was found that, when exposed to 24-epi- and 28-homocastasterone for 9 days, the mycelium colony developed only in the depths of the culture liquid, and the mycelium was formed into glomeruli with a dense structure. The use of salicylates 24-epicastasterone and 6-deoxo-24-epicastasterone promoted the development of an extensive colony of mycelium both on the surface and in the depth of the culture liquid. Salicylates also influenced the structure of the mycelium – the jellyfish-like loose mycelium was observed in flasks with a medium containing 24-epi and 6-deoxo-24-epicastasterone salicylates. For the first time, the determination of the content of endogenous brassinosteroids in the fruiting body and mycelium of *P. ostreatus* was carried out.

**Keywords:** oyster mushroom (*Pleurotus ostreatus*), brassinosteroids, salicylates of brassinosteroids, enzyme immunoassay

**For citation.** Zhuk O. N., Slizh D. A., Litvinovskaya R. P., Tomanova M. A., Zhabinskii V. N., Khripach V. A. Influence of brassinosteroids on the development of the mycelia of basidial mushroom *Pleurotus ostreatus*. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2022, vol. 66, no. 1, pp. 35–42 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2022-66-1-35-42>

**Введение.** Грибы являются богатым источником различных биологически активных веществ со специфическим химическим составом, не имеющим аналогов в растительном и животном мире. Их биологически активные вещества имеют широкий спектр эффектов, участвующих в регуляции метаболических путей человека – от блокировки их в центральной нервной системе (работают как яды) до улучшения обмена веществ, стимуляции ряда функциональных систем, в том числе иммунной, и выведения из организма радионуклидов, тяжелых металлов и токсинов [1]. Во всем мире усиленно ведутся поиск и испытание новых лекарственных препаратов из грибов. К настоящему времени уже получен ряд таких препаратов на основе глюканов, выделенных из плодовых тел грибов, к ним относятся: Шизофиллан, Лентинан, Крестин, Бифунгин, Леван-2 и мн. др. [2; 3]. Следует признать, что грибы как источник биологически активных веществ в нашей стране рассматриваются весьма осторожно, хотя их биологическое разнообразие достаточно велико. Поиск биологической активности соединений, выделенных из грибов, ведется в нескольких направлениях – антиканцерогенной и противоопухолевой, гипополипидемической, антибактериальной и противовирусной, иммуномодулирующей. Перспективны исследования грибных кардиотоников, веществ, успокаивающих нервную систему, витаминов, незаменимых аминокислот и пищевых волокон [4; 5].

Браassinостероиды (БС) известны как группа стероидных гормонов, которые оказывают комплексное воздействие на растения [6]. Их регуляторная роль проявляется в стимуляции процессов роста, интенсивности фотосинтеза, стрессовых реакций, изменениях белкового обмена, транспорта ионов и многих других аспектах обмена веществ. Информация о роли БС в физиологических и биохимических процессах грибов ограничена, а данные об эндогенном содержании их в грибах отсутствуют. В ряде исследований отмечен стимулирующий эффект при обработке грибов браassinостероидами. Так, в случае применения препарата Эпин (действующее вещество – 24-эпибразинолид) цикл выращивания сокращался на 10–12 % при увеличении урожайности на 70–80 %<sup>1</sup> [7], а рост мицелия вешенки на агаризованной, жидкой и зерновой средах ускорялся [8]. Сообщалось, что рост мицелия гриба *Psilocybe cubensis* происходит в 2–3 раза быстрее под влиянием синтетического аналога БС (22S,23S)-28-гомобразинолида по сравнению с необработанным контролем [9]. Обработка браassinостероидами также привела к более раннему появлению первых плодовых тел и увеличению сухой массы гриба.

Для массового производства препаратов или очищенных биологически активных веществ из грибов можно использовать как сбор плодовых тел в природе, так и биотехнологические методы выращивания. Сбор плодовых тел в природе ограничен несколькими факторами: коротким периодом развития, редким появлением или отсутствием гриба в естественных условиях, а также возможным ущербом, который может быть нанесен экосистеме процедурой удаления плодовых тел. Биотехнологическое производство удобно благодаря круглогодичному характеру и бережному отношению к окружающей среде. Питательная среда в ферментере легко контролируется, а ее состав может быть обогащен в строго дозированных количествах биологически активными веществами, в том числе теми, которые можно рассматривать как факторы роста. В связи с этим основной целью данной работы было получение новых знаний о количественном содержании эндогенных БС и их участии в жизненных процессах базидиомицетов, а также исследование возможности применения экзогенных БС при культивировании грибов. В работе также ставится задача изучения эффекта производных БС – конъюгатов с салициловой кислотой. Последнее интересно тем, что рядом авторов отмечено синергическое взаимодействие БС с гормонами растений (гиббереллины и ауксины) [10]. Кроме того, получены экспериментальные данные о пересечении сигнальных путей БС и салициловой кислоты, обусловленном тем, что в трансдукции

<sup>1</sup> Способ стимуляции роста шампиньонов и вешенок: пат. RU 2160000 / К. Л. Алексеева, Н. Н. Малеванная, В. А. Хрипач, В. Н. Жабинский. – Оpubл. 10.12.2000.

сигналов обоих фитогормонов задействован белок NPR1 [11]. Ранее нами осуществлен синтез салицилатов БС и показана их эффективность при выращивании растений в стрессовых условиях [12].

**Материалы и методы исследования.** Исследования выполнены на «диком» штамме вешенки обыкновенной (*P. ostreatus*), выделенном сотрудником кафедры биотехнологии Полесского государственного университета, доцентом Е. О. Юрченко из плодовых тел, растущих на культурном тополе (*Populus* sp.) [13].

**Поверхностное культивирование.** Для культивирования вешенки обыкновенной применялся картофельно-сахарозный агар (КСА), для приготовления которого использовали (г/л): картофель сорта Скарб – 100; пищевая сахароза (ГОСТ 33222–2015) – 10; агар-агар американский тип QP – 13; водопроводная вода – 1000. Стерилизация проводилась в автоклаве 40 мин при 112 °С (0,5 атм.).

При посеве *P. ostreatus* на плотную питательную среду фрагменты ковры маточного мицелия площадью 1,0 см<sup>2</sup> помещали в центр чашки Петри и выращивали в течение 14 суток в темноте при постоянной температуре 26 ± 1 °С. Рост и развитие мицелия ежедневно оценивали органолептически, на 7-е и 14-е сутки исследовали морфологию. Морфологические особенности мицелия *P. ostreatus* анализировали с помощью микроскопа Olympus CX41.

**Глубинное культивирование.** Посев инокулюма *P. ostreatus* осуществляли, помещая фрагменты ковры маточного мицелия площадью 1,0 см<sup>2</sup> на 100 мл стерильной питательной картофельно-сахарозной среды (КСС). *P. ostreatus* культивировали в течение 14 суток в темноте, при 26 ± 1 °С на качалке модели Wise Shake SHO и режиме 70 об/мин. Аэрация происходила за счет диффузии воздуха через ватно-марлевые пробки. Культивирование мицелия вешенки проводили в трех повторях.

**Наращение массы вешенки обыкновенной в глубинной культуре.** Для исследования нарастания массы мицелия вешенки обыкновенной в глубинной культуре в качестве питательной среды использовали КСС, помещая в нее фрагменты маточного мицелия в соотношении 1 см<sup>2</sup> мицелия на 100 мл питательной среды. Культивировали в течение 9 суток, снимая каждые сутки показатели нарастания культуры *P. ostreatus*.

**Количественное определение брассиностероидов методом иммуноферментного анализа.** Лиофилизацию образцов гриба из замороженного состояния проводили под вакуумом на приборе VirTis 6211 (США). Лиофилизированные образцы измельчали, брали навески (~1 г) и добавляли 8 мл буферного раствора 0,25 М Трис, тщательно перемешивали. Полученные смеси оставляли на 4–6 ч при комнатной температуре и далее определяли содержание брассиностероидов двухстадийным методом [14] с использованием разработанных в Лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии иммуноферментных тест-систем по определению 24-эпи-, 24S-метил-, 28-гомобрассиностероидов.

**Изучение влияния брассиностероидов на культивирование гриба.** В качестве регуляторов роста изучали природные брассиностероиды и их конъюгаты с салициловой кислотой: 24-эпикастастерон (ЭК), 28-гомокастастерон (ГК), салицилат 24-эпикастастерона (салицилат ЭК), салицилат 6-дезоксо-24-эпикастастерона (салицилат 6-дезоксо-ЭК). Указанные соединения получены в Лаборатории химии стероидов Института биоорганической химии НАН Беларуси. Рабочий раствор готовили путем растворения 1 мг брассиностероида в 1 мл этанола и последующего его разбавления до 10 мл. В питательную среду вносили с помощью пипет-дозатора по 0,5 мл брассиностероида на 1 л среды. Концентрации брассиностероидов и их производных в культуральной жидкости составляли 0,05 мг/л.

**Культивирование гриба.** В процессе культивирования гриба осуществляли визуальную оценку наличия роста мицелия вешенки в каждой из питательных сред. По окончании культивирования анализировали макроморфологические особенности культур, влажную и сухую массу мицелия. Биомасса гриба из каждой повторности отделялась от среды, излишки культуральной жидкости удаляли при помощи фильтровальной бумаги. Мицелий собирали также со стенок колб. Для определения урожайности (по сухой массе) мицелий высушивали при температуре 35–37 °С до полной потери гибкости склеившейся гифальной массы и взвешивали.

**Результаты и их обсуждение.** Исследования проводили на диком штамме вешенки обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*). Во время культивирования гриба проводилась визуальная оценка наличия роста мицелия вешенки в каждой из питательных сред. В конце культивирования анализировали макроморфологические характеристики культур, влажную и сухую массу мицелия.

В поверхностной культуре мицелий *P. ostreatus* имел характерные для него морфологические особенности: бесцветные, септированные гифы с многочисленными одиночными пряжками. В погруженной культуре на питательной среде без внесения брассиностероидов вешенка формировала бледно окрашенные с короткими лучистыми выростами шарики мицелия диаметром от 2 до 25 мм (рисунок). Вначале развивались 1–2 крупных шарика, происходящих из инокулюма, позже появлялись вторичные мелкие. С удлинением сроков культивирования общая масса мицелия нарастала. Культуре был присущ ярко выраженный грибной аромат.



Рост мицелия *P. ostreatus* при поверхностном (a) и глубинном (b) культивировании  
Growth of *P. ostreatus* mycelium during surface (a) and deep (b) cultivation

Прирост массы за первые 2 сут по отношению к исходной составлял 2,7 раза, за 3 сут – 4,5 раза, за 4 сут – 10,3 раза, за 7 сут – 21,1 раза, за 8 сут – 27,8 раза, за 9 сут – 31,7 раза. Но скорость нарастания массы по отношению к предыдущим суткам увеличивалась только в первую неделю культивирования – максимальный показатель в наших условиях зарегистрирован на 4 сут – увеличение в 2,3 раза по отношению к 3 сут. В последующем скорость прироста снижалась (табл. 1).

Т а б л и ц а 1. Нарастание влажной массы вешенки обыкновенной в глубинной культуре

Table 1. The increase in the wet mass of oyster mushrooms in deep culture

Сутки <i>in vitro</i> Day <i>in vitro</i>	Влажная масса, г Wet mass, g	Прирост массы мицелия Mycelium mass gain	
		по отношению к исходной, кратность in relation to the original, multiplicity	по отношению к массе, зафиксированной в предыдущие сутки, кратность in relation to the mass recorded on the previous day, multiplicity
0	0,83 ± 0,10	–	–
2	2,21 ± 0,9	2,7	–
3	3,72 ± 0,27	4,5	1,68
4	8,54 ± 1,0	10,3	2,3
7	17,52 ± 1,3	21,1	2,05
8	23,06 ± 1,25	27,8	1,3
9	26,34 ± 2,00	31,7	1,1

Анализ кривой роста показал, что в периодической погруженной культуре в течение 9 суток наблюдений масса мицелия нарастала, что свидетельствовало о продолжении в данном временном отрезке экспоненциальной фазы роста *P. ostreatus*.

До настоящего времени нет данных по содержанию brassinosterоидов в грибах, в частности, в вешенке обыкновенной. Поскольку планировалось изучение влияния экзогенных БС на рост и развитие вешенки, мы поставили задачу определения содержания эндогенных БС в составе плодового тела и мицелия гриба. Методом иммуноферментного анализа показано наличие у базидиальных грибов основных групп brassinosterоидов. Так, в вешенке обыкновенной выявлено присутствие brassinosterоидов ряда 24-эпибрассинолида, брассинолида и 28-гомобрассинолида. Количественный состав brassinosterоидов представлен в табл. 2.

Т а б л и ц а 2. Содержание эндогенных brassinosterоидов тела природного гриба и 14-дневного мицелия вешенки обыкновенной, полученного в глубинной культуре, нг/г лиофильно высушенной массы

T a b l e 2. The content of endogenous brassinosterоids of the natural mushroom body and a 14-day mycelium of oyster mushroom obtained in deep culture, ng/g of freeze-dried mass

Образец Sample	Содержание brassinosterоидов Brassinosterоid content		
	24-эпиБС 24-epiBS	24S-метилБС 24S-methylBS	28-гомоБС 28-homoBS
Вешенка обыкновенная (плодовое тело)	93,38 ± 2,68	253,154 ± 15,04	136,09 ± 5,3
Вешенка обыкновенная (мицелий)	63,16 ± 3,99	7,75 ± 1,21	44,68 ± 2,31

П р и м е ч а н и е: 24-эпиБС – БС ряда 24-эпибрассинолида (24-эпибрассинолид, 24-эпикастастерон, 6-дезоксо-24-эпикастастерон); 24S-метилБС – БС ряда брассинолида (брассинолид, кастастерон, 6-дезоксокастастерон); 28-гомоБС – БС ряда 28-гомобрассинолида (28-гомобрассинолид, 28-гомокастастерон, 6-дезоксо-28-гомокастастерон).

N o t e: 24-epiBS – BS of the 24-epibrassinolide series (24-epibrassinolide, 24-epicastasterone, 6-deoxo-24-epicastasterone); 24S-methylBS – BS of the brassinolide series (brassinolide, castasterone, 6-deoxocastasterone); 28-homoBS – BS of the 28-homobrassinolide series (28-homobrassinolide, 28-homocastasterone, 6-deoxo-28-homocastasterone).

Из данных табл. 2 следует, что биосинтез brassinosterоидов имеет место в природном грибе, и это свойство продукции вторичных метаболитов сохраняется при глубинном культивировании. Несмотря на то что количественная составляющая их биосинтеза ниже в глубинной культуре, их содержание близко к таковому в растительных объектах [6]. Можно отметить, что если для плодового тела основной составляющей являются БС ряда брассинолида, то для мицелия более характерны БС группы 24-эпибрассинолида.

При культивировании *P. ostreatus* на питательной среде, содержащей brassinosterоиды, уже на 3-и сутки во всех вариантах эксперимента отмечали различия в развитии мицелия по сравнению с контролем, а также между группами brassinosterоидов. Различия в развитии мицелия имели качественный (тип мицелия, его структура, наличие лучистых выростов на клубочках, форма клубочков) и количественный характер (масса мицелия).

Клубочки мицелия *P. ostreatus*, выращенного на питательной среде с добавлением 24-эпикастастерона, имели округлую и продолговатую формы, лучистые отростки, длина которых была визуально больше чем в контроле. Цвет культуральной жидкости не изменялся, культура имела характерный грибной аромат.

При выращивании *P. ostreatus* в питательной среде с добавлением 28-гомокастастерона лучистые отростки наблюдали не у всех клубочков мицелия – крупные формировали выросты, мелкие были гладкими. Форма крупных клубочков во всех повторях была продолговатой, а мелких – округлой. На цвет культуральной жидкости данный brassinosterоид не оказал влияния, но усиливал грибной аромат.

Салицилат эпикастастерона, добавленный в питательную среду, обусловил развитие совершенно иного типа мицелия – на поверхности культуральной жидкости он представлял собой белые шерстисто-ватные колонии, диаметр которых за 3 дня культивирования достигал 5,5 см, в толще среды формировались медузоподобные образования.

При выращивании *P. ostreatus* в среде с добавлением салицилата 6-дезоксо-24-эпикастастерона мицелий вешенки развивался на поверхности и в толще культуральной жидкости. В толще

питательной среды наблюдали формирование медузоподобного образования. Часть мицелия вешенки была сформирована в клубочки, не имеющие лучистых выростов.

Результаты взвешивания влажной и сухой масс мицелия вешенки, культивируемого на питательной среде с применением всех исследуемых brassinosteroidов, представлены в табл. 3.

Т а б л и ц а 3. Влияние brassinosteroidов на накопление биомассы 9-дневного мицелия *P. ostreatus*  
T a b l e 3. Effect of brassinosteroids on the accumulation of biomass of the 9-day *P. ostreatus* mycelium

Опыт Experience	Масса влажного мицелия, г Wet mycelium weight, g	Масса сухого мицелия, г Dry mycelium weight, g
Контроль	14,48 ± 0,07	0,8 ± 0,01
24-эпикастастерон (ЭК)	66,88 ± 0,07	3,8 ± 0,07
28-гомокастастерон (ГК)	68,80 ± 1,26	3,9 ± 0,08
Салицилат ЭК	74,96 ± 0,04	4,3 ± 0,09
Салицилат 6-дезоксо-ЭК	108,16 ± 0,06	6,2 ± 0,05

Из данных табл. 3 видно, что сухая масса мицелия гриба, выращенного с использованием 24-эпикастастерона, превышает значения контроля в 4,8 раз, 28-гомокастастерона – в 4,9 раза, салицилата 24-эпикастастерона – в 5,4 раза, салицилата 6-дезоксо-24-эпикастастерона – в 7,8 раза.

**Заклучение.** Таким образом, впервые показана эффективность применения фитогормонов 24-эпикастастерона и 28-гомокастастерона при выращивании вешенки обыкновенной (*Pleurotus ostreatus*). Проведенные эксперименты показали, что добавление brassinosteroidов в концентрации 0,05 мг/л в питательную среду при погружном культивировании *P. ostreatus* значительно увеличивало биомассу мицелия. Методом иммуноферментного анализа проведено количественное определение содержания эндогенных brassinosteroidов ряда brassinoliда, 24-эпибрассинолида и 28-гомобрассинолида в плодовом теле и мицелии гриба вешенки обыкновенной. Добавление салицилатов 24-эпикастастерона и 6-дезоксо-24-эпикастастерона в культуральную среду способствовало развитию обширной колонии мицелия вешенки как на поверхности, так и в глубине культуральной жидкости. При использовании 24-эпикастастерона и 28-гомокастастерона развивалась только глубинная культура гриба. Brassinosteroidы и их салицилаты также оказывали влияние на структуру мицелия в зависимости от используемого гормона. При использовании 24-эпи- и 28-гомокастастеронов мицелий формировался в клубочки, которые имели плотную структуру. Медузоподобный рыхлый мицелий наблюдали в колбах со средой, содержащей салицилаты 24-эпи- и 6-дезоксо-24-эпикастастерона.

#### Список использованных источников

1. Булах, Е. М. Грибы – источник жизненной силы / Е. М. Булах. – Владивосток, 2001. – 64 с.
2. Биологические особенности лекарственных макромицетов в культуре: сб. науч. тр.: в 2 т. / под ред. С. П. Васера. – Киев, 2011. – Т. 1. – С. 5–6.
3. Чхенкели, В. А. Антимикробное действие дереворазрушающего гриба *Coriolus pubescens* (Shum. Fr.) Quel / В. А. Чхенкели, Т. И. Никифорова, Р. Г. Скворцова // Микология и фитопатология. – 1998. – Т. 32, № 1. – С. 69–71.
4. Краснопольская, Л. М. Грибы класса *Basidiomycetes* – источники лекарственных веществ / Л. М. Краснопольская // Современные проблемы микологии, альгологии и фитопатологии: сб. науч. тр. – М., 1998. – С. 230–232.
5. Система скрининга экстрактов базидиальных грибов, обладающих противоопухолевой активностью / Л. М. Краснопольская [и др.] // Успехи медицинской микологии. – 2005. – Т. 5. – С. 192–195.
6. Khripach, V. A. Brassinosteroids: A new class of plant hormones / V. A. Khripach, V. N. Zhabinskii, A. E. De Groot. – San Diego, 1998. – 456 p.
7. Алексеева, К. Л. Применение эпина для стимуляции роста съедобного гриба вешенки обыкновенной / К. Л. Алексеева, В. В. Чурикова // Докл. Рос. акад. сельскохоз. наук. – 2004. – № 5. – С. 18–19.
8. Влияние эпибрассинолида на рост и развитие мицелия *Pleurotus ostreatus* / О. А. Евдокимова [и др.] // Микология и фитопатология. – 2002. – Т. 36, вып. 4. – С. 44–47.
9. Gartz, J. Growth-promoting effect of a brassinosteroidin mycelial cultures of the fungus *Psilocybe cubensis* / J. Gartz, G. Adam, H. M. Vorbrodt // Naturwissenschaften. – 1990. – Vol. 77, N 8. – P. 388–389. <https://doi.org/10.1007/bf01135741>
10. Bajguz, A. Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses / A. Bajguz, S. Hayat // Plant Physiol. Biochem. – 2009. – Vol. 47, N 1. – P. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2008.10.002>

11. Divi, U. K. Brassinosteroids Mediated Stress Tolerance in Arabidopsis Shown Interactions with Ascorbic Acid, Ethylene and Salicylic Acid Pathways / U. K. Divi, T. Rahman, P. Krishna // *BMC Plant Biology*. – 2010. – Vol. 10. – P. 151–164. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-151>
12. Синтез и стресс-протекторное действие на растения конъюгатов брассиностероидов с салициловой кислотой / Р. П. Литвиновская [и др.] // *Химия природн. соед.* – 2016. – № 3. – С. 394–398.
13. Особенности роста и развития культуры гриба вешенка обыкновенная (*Pleurotus ostreatus*) в присутствии ионов марганца (II) / О. Н. Жук [и др.] // *Вестн. Полесского гос. ун-та. Сер. природовед. наук.* – 2017. – № 2. – С. 43–50.
14. A new ELISA for quantification of brassinosteroids in plants / A. G. Pradko [et al.] // *Steroids*. – 2015. – Vol. 97. – P. 78–86. <https://doi.org/10.1016/j.steroids.2014.08.022>

## References

1. Bulach E. M. *Mushrooms are a source of vitality*. Vladivostok, 2001. 64 p. (in Russian).
2. Vasser S. P., ed. *Biological properties of medicinal macromycetes in culture: collection of scientific papers in 2 volumes. Vol. 1*. Kiev, 2011, pp. 5–6 (in Russian).
3. Chkhenkeli V. A., Nikiforova T. I., Skvortsova R. G. Antimicrobial action of the wood-destroying fungus *Coriolus pubescens* (Shum. Fr.) Quel]. *Mikologiya i fitopatologiya = Mycology and Phytopathology*, 1998, vol. 32, no. 1, pp. 69–71. (in Russian).
4. Krasnopol'skaya L. M. Mushrooms of the class Basidiomycetes – sources of medicinal substances. *Sovremennyye problemy mikologii, al'gologii i fitopatologii: Sbornik nauchnykh trudov* [Modern problems of mycology, algology and phytopathology: collection of scientific papers]. Moscow, 1998, pp. 230–232 (in Russian).
5. Krasnopol'skaya L. M., Belitsky I. V., Avtonomova A. V. Screening system for extracts of basidiomycetes with antitumor activity. *Uspekhi meditsinskoj mikologii = Advances in medical mycology*, 2005, vol. 5, pp. 192–195 (in Russian).
6. Khripach V. A., Zhabinskii V. N., De Groot A. E. *Brassinosteroids: A new class of plant hormones*. San Diego, 1998. 456 p.
7. Alekseeva K. L., Churikova V. V. Using epin for growth stimulation of oyster mushroom. *Doklady Rossijskoi akademii sel'skokhozyaistvennykh nauk = Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*, 2004, no. 5, pp. 18–19 (in Russian).
8. Evdokimova O. A., Pol'skikh S. V., Aksenovskaya V. E., Usacheva R. V. Influence of epibrassinolide on the growth and development of *Pleurotus ostreatus* mycelium. *Mikologiya i fitopatologiya = Mycology and Phytopathology*, 2002, vol. 36, no. 4, pp. 44–47 (in Russian).
9. Gartz J., Adam G., Vorbrodt H. M. Growth-promoting effect of a brassinosteroid in mycelial cultures of the fungus *Psilocybe cubensis*. *Naturwissenschaften*, 1990, vol. 77, no. 8, pp. 388–389. <https://doi.org/10.1007/bf01135741>
10. Bajguz A., Hayat S. Effects of brassinosteroids on the plant responses to environmental stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, 2009, vol. 47, no. 1, pp. 1–8. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2008.10.002>
11. Divi U. K., Rahman T., Krishna P. Brassinosteroids Mediated Stress Tolerance in Arabidopsis Shown Interactions with Abscisic Acid, Ethylene and Salicylic Acid Pathways. *BMC Plant Biology*, 2010, vol. 10, no. 1, pp. 151–164. <https://doi.org/10.1186/1471-2229-10-151>
12. Litvinovskaya R. P., Vayner A. A., Zhylitskaya H. A., Kolupaev Yu. E., Savachka A. P., Khripach V. A. Synthesis and stress-protective action on plants of brassinosteroid conjugates with salicylic acid. *Chemistry of Natural Compounds*, 2016, vol. 52, no. 3, pp. 452–457. <https://doi.org/10.1007/s10600-016-1671-y>
13. Zhuk O. N., Bokova O. A., Sakovich V. V., Nikandrov V. N. Distinguishing feature of growth and development of (*Pleurotus ostreatus*) mushroom in the presence of manganese ions (II). *Vestnik Polesskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya prirodovedcheskikh nauk = Bulletin of Polessky State University. Series of Natural Sciences*, 2017, no. 2, pp. 43–50 (in Russian).
14. Pradko A. G., Litvinovskaya R. P., Sauchuk A. L., Drach S. V., Baranovsky A. V., Zhabinskii V. N., Mirantsova T. V., Khripach V. A. A new ELISA for quantification of brassinosteroids in plants. *Steroids*, 2015, vol. 97, pp. 78–86. <https://doi.org/10.1016/j.steroids.2014.08.022>

## Информация об авторах

Жук Ольга Николаевна – канд. биол. наук, доцент. Полесский государственный университет (ул. Днепровской флотилии, 23, 225710, Пинск, Республика Беларусь). E-mail: nadulich@mail.ru.

Слиж Дарья Александровна – аспирант, мл. науч. сотрудник. Полесский государственный университет (ул. Днепровской флотилии, 23, 225710, Пинск, Республика Беларусь). E-mail: d-grushevskaya@mail.ru.

Литвиновская Раиса Павловна – д-р хим. наук, гл. науч. сотрудник. Институт биоорганической химии НАН Беларуси (ул. Купревича, 5/2, 220141, Минск, Республика Беларусь). E-mail: litvin@iboch.by.

## Information about the authors

Zhuk Olga N. – Ph. D. (Biology), Associate Professor. Polessky State University (23, Dneprovskoy Flotilii Str., 225710, Pinsk, Republic of Belarus). E-mail: nadulich@mail.ru.

Slizh Darya A. – Postgraduate Student, Junior Researcher. Polessky State University (23, Dneprovskoy Flotilii Str., 225710, Pinsk, Republic of Belarus). E-mail: d-grushevskaya@mail.ru.

Litvinovskaya Raisa P. – D. Sc. (Chemistry), Chief Researcher. Institute of Bioorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (5/2, Kuprevich Str., 220141, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: litvin@iboch.by.

*Томанова Маргарита Алексеевна* – научн. сотрудник. Институт биоорганической химии НАН Беларуси (ул. Купревича, 5/2, 220141, Минск, Республика Беларусь). E-mail: margo.e.com@mail.ru.

*Жабинский Владимир Николаевич* – член-корреспондент, д-р хим. наук, гл. науч. сотрудник. Институт биоорганической химии НАН Беларуси (ул. Купревича, 5/2, 220141, Минск, Республика Беларусь). E-mail: vz@iboch.by.

*Хрипач Владимир Александрович* – академик, д-р хим. наук, профессор, заведующий лабораторией. Институт биоорганической химии НАН Беларуси (ул. Купревича, 5/2, 220141, Минск, Республика Беларусь). E-mail: khripach@iboch.by.

*Tomanova Margarita A.* – Researcher. Institute of Bioorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (5/2, Kuprevich Str., 220141, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: margo.e.com@mail.ru.

*Zhabinskii Vladimir N.* – Corresponding Member, D. Sc. (Chemistry), Chief Researcher. Institute of Bioorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (5/2, Kuprevich Str., 220141, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vz@iboch.by.

*Khripach Vladimir A.* – Academician, D. Sc. (Chemistry), Professor, Head of the Laboratory. Institute of Bioorganic Chemistry of the National Academy of Sciences of Belarus (5/2, Kuprevich Str., 220141, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: khripach@iboch.by.

## СОДЕРЖАНИЕ

### МАТЕМАТИКА

<b>Корзюк В. И., Рудько Я. В.</b> Классическое решение смешанной задачи для нелинейного уравнения .....	7
<b>Хоанг Тхи Киеу Ань.</b> Компактные разностные схемы для многомерного уравнения Клейна–Гордона .....	12
<b>Калинин А. И., Лавринович Л. И.</b> Применение метода возмущений к задаче оптимизации переходного процесса в квазилинейной динамической системе .....	21

### ФИЗИКА

<b>Федотова Ю. А.</b> Электрические свойства черного мышьяка .....	26
--	----

### ХИМИЯ

<b>Жук О. Н., Слиж Д. А., Литвиновская Р. П., Томанова М. А., Жабинский В. Н., Хрипач В. А.</b> Влияние брассиностероидов на развитие мицелия базидиального гриба <i>Pleurotus ostreatus</i> .....	35
<b>Семенов Д. А., Куприенко О. С., Вашкевич И. И., Свиридов О. В.</b> Некоторые металлсвязывающие свойства рекомбинантного лактоферрина человека из молока трансгенных коз .....	43

### БИОЛОГИЯ

<b>Наумович Н. И., Охремчук А. Э., Валентович Л. Н., Алещенкова З. М., Ананьева И. Н., Сафронова Г. В.</b> Молекулярно-генетическая характеристика галотолерантного штамма <i>Priestia megaterium</i> БИМ В-1314Д .....	55
---	----

### МЕДИЦИНА

<b>Матвеевков М. В., Храменкова О. М., Чешик И. А.</b> Цитотоксические и фотомодифицирующие свойства экстрактов из распространенных лишайников юго-востока Беларуси .....	65
<b>Лобанова В. В., Висмонт Ф. И., Губкин С. В.</b> Значимость активности аргиназы печени и клеток Купфера в процессах детоксикации и формировании тиреоидного статуса у крыс при хронической алкогольной интоксикации различной тяжести .....	76

### НАУКИ О ЗЕМЛЕ

<b>Чижик С. А., Журавков М. А., Петровский А. Б., Прушак В. Я., Пузанов Д. А.</b> Расчет эффективных механических характеристик подработанного массива горных пород (на англ. яз.) .....	83
<b>Романов С. Л., Червань А. Н., Коробова Е. М.</b> Особенности пространственного распространения онкологических заболеваний на территории Гомельской и Могилевской областей Беларуси .....	91
<b>Айзберг Р. Е., Грибик Я. Г., Гарецкий Р. Г.</b> Тектонические особенности разнотипных нефтегазоносных бассейнов запада Восточно-Европейской платформы .....	104

### ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

<b>Жданок С. А., Леонович С. Н., Полонина Е. Н.</b> Синергетическое влияние наночастиц SiO <sub>2</sub> и углеродных нанотрубок на свойства бетона .....	109
<b>Ильющенко А. Ф., Талако Т. Л., Лешок А. В., Лецко А. И., Пинчук Т. И.</b> Исследование влияния добавок ультрадисперсного порошка системы NiAl/Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> на триботехнические свойства фрикционного материала на основе меди .....	113

### АГРАРНЫЕ НАУКИ

<b>Пестис В. К., Пешко В. В., Епишко О. А., Ситько А. А.</b> Применение ДНК-тестирования крупного рогатого скота по генам LTF и MBL1 для повышения эффективности производства молока .....	122
--	-----