

Оригинальная статья / Original article

УДК 578.7:615.32

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-1-80-89>



Влияние синего света при культивировании мицелия *Inonotus rheades* на биологические свойства водных экстрактов

© Г.Б. Боровский*, Т.Г. Горностай*, М.С. Полякова*,
М.К. Боровская*, М.А. Хаснатинов**,
И.С. Соловаров**, Г.А. Данчинова**

*Сибирский институт физиологии и биохимии растений СО РАН,
г. Иркутск, Российская Федерация

**Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Научный центр проблем здоровья семьи и репродукции человека»
г. Иркутск, Российская Федерация

Резюме: Цель работы – определить, зависят ли антиоксидантные, цитотоксические и вирулицидные свойства водных экстрактов из мицелия *Inonotus rheades* от условий освещения при его культивировании. Было изучено влияние освещения синим светом на мицелий *I. rheades*, который культивировали на древесине березы при температуре 25 ± 1 °C в темноте или при постоянном освещении синими светодиодами мощностью 12,8 Вт/м². В ходе работы были получены две фракции водорастворимых полисахаридов: ВР-5 – выделенные из мицелия, выращенного при освещении синим светом; ВР-6 – выделенные из мицелия, выращенного в темноте. Экстракт из мицелия, выросшего в условиях освещения синим светом, проявлял большую антиоксидантную активность, чем экстракт из мицелия, выращенного в темноте. Исследование действия экстрактов на тестовую культуру опухолевых клеток показало, что экстракты вызывают небольшую гибель клеток на 6-е сутки совместной инкубации. Цитостатическое действие экстрактов также проявлялось спустя 6 суток. Плотность культуры при максимальных концентрациях уменьшалась до 60% от контроля для экстракта ВР-6 и до 20% – для экстракта ВР-5. Результаты измерения противовирусной активности экстрактов показали, что экстракты ВР-5 и ВР-6 полностью уничтожают вирус клещевого энцефалита. Экспериментально показано, что после нормализации значений pH экстрактов в обоих экстрактах присутствуют компоненты, проявляющие существенное противовирусное действие. Индекс ингибирования для экстракта ВР-5 составил 3, а для ВР-6 – 2 I_g БОЕ/мл. Это позволяет предположить, что концентрация вирулицидных компонентов в экстракте из мицелия, выращенного в условиях освещения синим светом, приблизительно в 10 раз выше, чем в экстракте из мицелия, выращенного в темноте. Таким образом, в экстрактах из мицелия *I. rheades*, выращенного на дисках березы, содержатся вещества, имеющие антиоксидантные, цитостатические, вирулицидные свойства. Их накопление стимулируется синим светом.

Ключевые слова: *Inonotus rheades*; водорастворимые полисахариды; биологическая, антиоксидантная, цитостатическая и противовирусная активность; вирус клещевого энцефалита; действие синего света

Благодарности: Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области в рамках научного проекта № 20-44-380010.

Для цитирования: Боровский Г.Б., Горностай Т.Г., Полякова М.С., Боровская М.К., Хаснатинов М.А., Соловаров И.С., Данчинова Г.А. Влияние синего света при культивировании мицелия *Inonotus rheades* на биологические свойства водных экстрактов. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2021. Т. 11. N 1. С. 80–89. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-1-80-89>

Impact of blue light on the biological properties of aqueous extracts during the cultivation of the *Inonotus rheades* mycelium

Gennadii B. Borovskii*, Tatyana G. Gornostai*, Marina S. Polyakova*,
Marina K. Borovskaja*, Maxim A. Khasnatinov**,
Innokentiy S. Solovarov**, Galina A. Danchinova**

*Siberian Institute of Plant Physiology and Biochemistry SB RAS,
Irkutsk, Russian Federation

**Federal State Public Scientific Institution
“Scientific Centre for Family Health and Human Reproduction Problems”
Irkutsk, Russian Federation

Abstract: The aim was to determine whether the antioxidant, cytotoxic and virucidal properties of aqueous extracts isolated from the *Inonotus rheades* basidiomycete depend on the illumination of the mycelium during cultivation. Effects of blue light illumination on the mycelium of *I. rheades*, which was cultivated on birch wood at 25 ± 1 °C in the dark and under a constant illumination of 12.8 W/m^2 were studied. In the course of the work, two fractions of water-soluble polysaccharides were obtained: BP-5 – isolated from the mycelium grown under blue light; BP-6 – isolated from mycelium grown in the dark. Two fractions of water-soluble polysaccharides were obtained during the study: BP-5 – water-soluble polysaccharides isolated from the mycelium grown under blue light; BP-6 – water-soluble polysaccharides isolated from the mycelium grown in the dark. The extract from the mycelium grown under blue light showed a greater antioxidant activity than that from the mycelium grown in the dark. An analysis of the effect of the extracts under study on a test culture of tumour cells showed that the extracts cause the death of some amount of the cells on the 6th day of co-incubation. The cytostatic effect of the extracts was also manifested following 6 days. In comparison with the control, the density of the culture at maximum concentrations decreased to 60% and 20% for BP-6 and BP-5, respectively. The results of measuring the antiviral activity of the extracts showed that BP-5 and BP-6 completely destroy tick-borne encephalitis viruses. It was experimentally shown that, after normalisation of the pH values, both extracts contain components exhibiting a significant antiviral effect. The inhibition index for BP-5 and BP-6 comprised 3 and 2 lg PFU/ ml, respectively. This suggests that the concentration of virucidal components in the extract from mycelium grown under blue light is approximately 10 times higher than that in the extract from the mycelium grown in the dark. Thus, the extracts from the mycelium of *I. rheades* grown on birch discs contain substances exhibiting antioxidant, cytostatic and virucidal properties. The accumulation of these properties can be stimulated by blue light illumination.

Keywords: *Inonotus rheades*; water-soluble polysaccharides; biological, antioxidant, cytostatic and antiviral activity; tick-borne encephalitis virus; blue light action

Acknowledgments: The study was carried out with the financial support of the Russian Fund for Basic Research and the Government of the Irkutsk Region as part of the scientific project No. 20-44-380010.

For citation: Borovskii GB, Gornostai TG, Polyakova MS, Borovskaja MK, Khasnatinov MA, Solovarov IS, Danchinova GA. Impact of blue light on the biological properties of aqueous extracts during the cultivation of the *Inonotus rheades* mycelium. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2021;11(1):80–89. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-1-80-89>

ВВЕДЕНИЕ

Свет служит важнейшим фактором, в целом влияющим на рост и развитие грибов [1]. Известно, что грибы имеют светочувствительные системы – хроматофоры, воспринимающие свет и участвующие в ответных реакциях грибного организма [2]. Отмечено существование механизмов восприятия УФ-излучения, синего, зеленого и красного света [2, 3]. Развитие технологий культивирования грибов в биотехнологических целях с использованием искусственного подсвечивания, в частности, с применением светодиодных ламп, дало возможность более детального исследования влияния света разных участков спектра на рост грибов. Так, использование красного света приводило к усилению роста и увеличению выхода биомассы мицелия *Laetiporus sulphureus* [4], *Coriolus vaporarius* и *Serpula lacrimans* [5]. Получению большого количества плодовых тел *Hypsizigus marmoreus* способствовало облучение синими и зелеными диодами [6], а для *Pleurotus citrinopileatus* – красными, при

этом полученные плодовые тела имели более высокую биологическую эффективность [7]. Повышение биологической активности также обнаружено при облучении глубинной культуры *Pleurotus ostreatus*. Низкоинтенсивное лазерное облучение с длиной волны 632,8 нм в непрерывном и импульсном режиме позволило увеличить антимикробную активность мицелия и культуральной жидкости *P. ostreatus* по отношению к *Micrococcus luteus*, *Staphylococcus aureus* и *Bacillus mycoides* на 10–20% [4].

В настоящее время доказано влияние света на метаболизм и содержание многих метаболитов у грибов [1, 8]. Использование синего света при выращивании гриба *Ganoderma lucidum* приводило к большему накоплению полисахаридов на каждой стадии его развития, чем при культивировании в темноте [9, 10]. Применение УФ-излучения увеличивало содержание полисахаридов в мицелии *Inonotus obliquus* до 2,4% [11]. Облучение синим и красным светом мицелия *G. lucidum* увеличивало накопление экзо- и эндо-

полисахаридов [12]. Частичное подавление образования фелигридинов и даваллиялактонов было отмечено для погруженной культуры *I. obliquus*, выращенной в синем и красном свете, в темноте содержание этих соединений было выше [13]. Для *I. rheades* также была обнаружена зависимость химического состава мицелия от длины волны света, которым он освещался при росте. В частности, было обнаружено влияние освещения на жирнокислотный состав мицелия [14], а также было установлено существенное повышение содержания стирилпиронов при освещении мицелия синим светом [15].

Таким образом, изменяя такой параметр культивирования, как свет, можно управлять морфогенезом и биосинтезом метаболитов грибного организма. Использование света как контролируемого экологического фактора, регулирующего рост, развитие и химический состав грибов, является актуальным. В связи с расширением темы исследования была поставлена цель – определить, зависят ли антиоксидантные, цитотоксические и вирулицидные свойства водных экстрактов из мицелия *Inonotus rheades* от условий освещения при его культивировании.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Объектом исследования являлся мицелий базидиального гриба *Inonotus rheades* штамм 287 из коллекции грибных культур Центра коллективного пользования «Биоресурсный центр» Сибирского института физиологии и биохимии растений СО РАН, который культивировали на древесных дисках *Betula pendula* Roth (Betulaceae). Субстрат был стерилизован и затем инокулирован мицелием *I. rheades*. Культивирование мицелия вели при температуре 25 ± 1 °С в темноте, а также при освещении синими светодиодами мощностью $12,8 \text{ Вт/м}^2$. Из полученного мицелия выделяли фракцию водорастворимых полисахаридов (ВРПС) с использованием методики, представленной в работе [16]. Переработку экстракта делали с использованием стерильной воды, далее экстракт пропускали через бактериальный фильтр с порами диаметром 22 мкм. Раствор ВРПС хранили при минус 20 °С.

Определение общего антиоксидантного потенциала (ТАС) экстрактов проводили по методике, представленной в работе [17], определение активности экстрактов, направленной на нейтрализацию радикалов, – с использованием свободного радикала ABTS^+ – по методике авторов работы [18].

В качестве тестовой культуры клеток была использована клеточная линия А-549, полученная из карциномы легкого человека [19], приобретенная в ООО «БиолоТ» (Россия). Клетки А-549 культивировали при 37 °С и 5% CO_2 в сре-

де DMEM с добавлением антибиотиков и 10% фетальной бычьей сыворотки. Эксперименты по цитотоксическому и тормозящему рост действию ВРПС на клетки культуры проводили в стандартных 96-луночных планшетах (Sarstedt, Германия): при достижении стадии 100% конфлюэнтности – для исследования цитотоксического действия, стадии 50–60% конфлюэнтности – для исследования цитостатического влияния. Для оценки влияния ВРПС на жизнеспособность клеток монослой инкубировали с тестируемым образцом в серии двукратных разведений в течение 1, 3 и 6 суток. Параллельно инкубировали контрольные образцы клеток, в которых вместо экстрактов использовали стерильный фосфатно-солевой буфер. Эксперимент воспроизводили в 3–4-х независимых повторах. Для определения тормозящего роста культуры действия ВРПС экстракты вносили в лунки по достижении 50-60% конфлюэнтности, что происходило после 24 ч, и инкубировали с растущей культурой клеток в течение указанных сроков.

Для определения эффекта действия ВРПС по истечении срока инкубации слой клеток промывали стерильным фосфатно-солевым буфером, фиксировали 10%-м формалином и окрашивали кристаллическим фиолетовым. Для сравнительной оценки количества жизнеспособных клеток, проводили экстракцию красителя в 100 мкл метанола и измеряли оптическую плотность (ОП) экстрактов при длине волны 630 нм с помощью спектрофотометра FLUOstar Omega (BMG Labtech, Германия). Долю жизнеспособных клеток после контакта с исследуемым экстрактом в заданной концентрации рассчитывали как отношение ОП экстракта кристаллического фиолетового в лунке с препаратом к ОП экстракта кристаллического фиолетового в лунке с контрольным монослоем и выражали в процентах.

Для оценки противовирусной активности использовали охарактеризованный ранее изолят вируса клещевого энцефалита (ВКЭ) 92М [20]. Культивирование ВКЭ проводили в клеточной линии почки эмбриона свиньи СПЭВ (НИИ гриппа им. А.А. Смородинцева МЗ РФ, Санкт-Петербург). Инфекционность вируса определяли с помощью титрования бляшкообразующих единиц в культуральной среде и выражали в виде lg БОЕ/мл. Поддержание культур клеток осуществляли на среде RPMI1640 с добавлением антибиотиков и 5% эмбриональной телячьей сыворотки (ЭТС) HyClone (Thermo Scientific, Россия).

Противовирусную активность определяли в соответствии с методикой, предложенной в работе [21], с учетом дальнейших модификаций. Для оценки ингибирующего действия экстрактов на вирионы ВКЭ, 100 мкл среды RPMI 1640 (без сыворотки), содержащей 30000 БОЕ ВКЭ, смешивали с равным объемом тестируемого экстракта в концентрации 8 мг/мл. Таким образом,

рабочая концентрация экстрактов составляла 4 мг/мл. Референс-образец приготавливали, смешивая 100 мкл вирусной суспензии с равным объемом стерильной бидистиллированной воды. В качестве положительного контроля использовали донорский иммуноглобулин человека против клещевого энцефалита производства НПО «Микроген» МЗ РФ (Томск) в концентрации 1 мг/мл. Смеси инкубировали при 37 °С в течение 30 мин и затем определяли концентрацию инфекционного ВКЭ в каждом образце с помощью титрования БОЕ согласно уже указанной методике [21]. Индекс ингибирования (ИИ) рассчитывали как разницу титра ВКЭ (в логарифмическом выражении) в референс-образце и титра ВКЭ в образце, обработанном исследуемым препаратом.

Все эксперименты проводили в трех независимых повторах, результаты представляли в виде средних значений. Для оценки внутригрупповой вариабельности результатов рассчитывали стандартное отклонение. Обработку результатов производили с помощью программы MSOffice EXCEL (Microsoft, США). Исследования противовирусной активности проводились в лаборатории, лицензированной для работ с возбудителями инфекционных заболеваний II–IV группы патогенности.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Выход и антиоксидантные свойства экстрактов ВРПС из мицелия, выращенного в темноте и при освещении. В ходе работы были получены две фракции ВРПС: ВР-5 – ВРПС мицелия, выращенного на древесных дисках при освещении синим светом, ВР-6 – ВРПС мицелия, выращенного на древесных дисках в темноте.

Данные, приведенные в таблице, показывают положительное влияние освещения на содержание ВРПС в мицелии. Так, экстракты ВРПС, выделенные из мицелия, выращенного в условиях освещения синим светом, проявляют большую антиоксидантную активность, чем ВРПС из мицелия, культивированного в темноте. Подобное влияние синего света на метаболизм *I. rhodes* ранее было показано нами для фенольных соединений стирилпиринов (веществ, имеющих высокий антиоксидантный потенциал) [15]. Из литературы также известно, что при освещении синим светом происходит увеличение содержания полисахаридов при культивировании *Ganoderma lucidum* [9, 10].

Характеристика ВРПС из *I. rhodes* при различных световых режимах выращивания
 Characterization of WSPS from *I. rhodes* under different light growing regimes

ВРПС	Выход, г	ТАС, мг/г	ABTS [•] (IC ₅₀ , мг/г)
ВР-5	2,13	63,51±1,95	17,19±1,72
ВР-6	1,06	34,98±1,46	55,73±0,41

Примечание. Представлены средние значения (M ± SE).

Действие экстрактов ВРПС на раковые клетки человека. Результаты исследования цитотоксической активности экстрактов ВР-5 и ВР-6 показали, что действие экстрактов на клетки А-549 довольно слабое. Так, после 1-х и 3-х суток инкубации значимого влияния экстрактов ВР-5 и ВР-6 отмечено не было. После 6-ти суток было замечено уменьшение количества живых клеток на 20–30% от контроля при максимальной исследованной концентрации 1000 мкг/мл (данные не представлены).

При определении цитостатического действия ВРПС на культуру клеток оказалось, что спустя трое суток совместной инкубации с клетками экстракты тормозили рост достаточно сильно только в высокой концентрации. На рис. 1 показано антипролиферативное действие экстрактов ВРПС из мицелия *I. rhodes* на культуру клеток А-549 после 6-ти суток совместной инкубации.

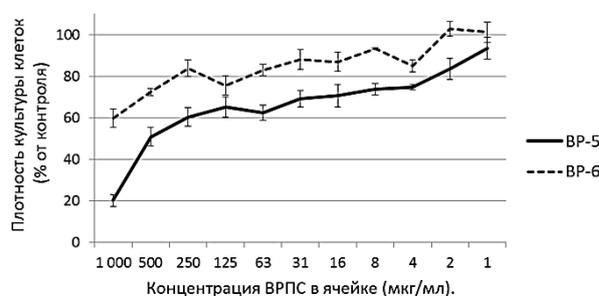


Рис. 1. Антипролиферативное действие экстрактов ВРПС из мицелия *I. rhodes* на культуру клеток А-549 после 6-ти суток совместной инкубации. Планки погрешностей отражают стандартное отклонение средних значений по результатам четырех независимых воспроизведений эксперимента

Fig. 1. Antiproliferative effect of extracts of VRPS from *I. rhodes* mycelium on A-549 cell culture after 6 days of co-incubation. Error bars represent the standard deviation of the means from four independent replicates of the experiment

Из представленных на рис. 1 графиков видно, что наиболее четко тормозящее рост и деление клеток действие ВР-5 и ВР-6 проявлялось спустя 6 суток. Плотность культуры уменьшалась до 60% от контроля для экстракта ВР-6 и до 20% – для экстракта ВР-5. При разведении экстракта интенсивность угнетения роста культуры довольно быстро уменьшалась. Таким образом, экстракты тормозили деление и рост клеточной культуры карциномы легкого (А-549) дозозависимым способом, при этом, стоит отметить, экстракт из мицелия, выращенного при синем свете (ВР-5) приводил к большему торможению роста плотности культуры А-549.

Известно, что полисахариды грибов проявляют противоопухолевую активность главным образом посредством активации иммунной системы организма [22, 23], а не прямым действи-

ем на раковые клетки. Тем не менее, ВРПС из *I. rheades* продемонстрировали регистрируемый цитостатический эффект, причем он также оказался светозависимым.

Противовирусные свойства экстрактов ВРПС. Результаты измерения противовирусной активности экстрактов, представленные в виде диаграммы на рис. 2, показывают, что экстракты ВР-5 и ВР-6 полностью уничтожили ВКЭ. На рис. 2 также представлены данные по референс-образцу ВКЭ, обработанному стерильной бидистиллированной водой. Контролем служил иммуноглобулин человека против клещевого энцефалита в концентрации 1 мг/мл.

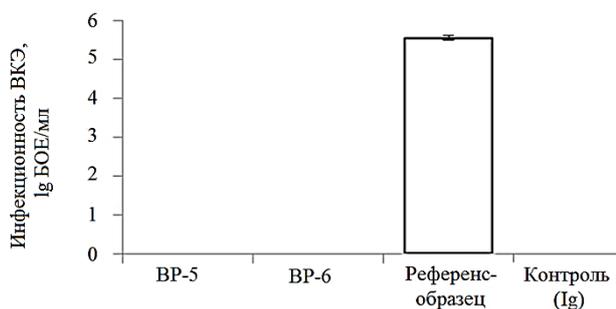


Рис. 2. Вирулицидное действие водных экстрактов ВРПС из мицелия, выращенного при освещении синим светом (ВР-5) и в темноте (ВР-6), по отношению к ВКЭ (рабочая концентрация – 0,4 мг/мл). Планки погрешностей отражают стандартное отклонение средних значений по результатам трех независимых воспроизведений эксперимента

Fig. 2. Antiviral effect of aqueous extracts of WSPS from mycelium grown under the blue light (ВР-5) and in the dark (ВР-6) against TBEV (working concentration – 0.4 mg/ml). Error bars represent the standard deviation of the means from three independent replicates of the experiment

Однако измерение pH экстрактов показало, что экстракты ВР-5 и ВР-6 определенно закислены – $\text{pH} < 5,8$. Это могло вызывать неспецифичное снижение инфекционности за счет необратимого pH-зависимого изменения конформации оболочечного белка вируса. Для нейтрализации кислотности экстрактов *I. rheades*, стоковые экстракты были растворены в стерильном фосфатно-солевом буфере ($\text{pH} = 7,4$) до концентрации 0,8 мг/мл, что обеспечивало рабочую концентрацию 0,4 мг/мл. Итоговая кислотность была близка к нейтральным значениям pH. Оказалось, что при нейтральных значениях pH экстракты ВР-5 и ВР-6 также проявляют вирулицидные свойства в концентрации 0,4 мг/мл и снижают количество инфекционного ВКЭ в 1000 и 100 раз соответственно (рис. 3).

Сравнение полученных данных показывает, что исключительные вирулицидные свойства экстрактов ВР-5 и ВР-6 в значительной мере обусловлены кислотностью растворов. Однако даже при приведении кислотности среды к

нейтральной в обоих экстрактах присутствуют компоненты, проявляющие существенное специфическое противовирусное действие. Индекс ингибирования для экстракта ВР-5 составил 3, а для ВР-6 – 2 lg БОЕ/мл. Это позволяет предположить, что концентрация вирулицидных компонентов (или индивидуального компонента) в экстракте из мицелия, выращенного в условиях освещения синим светом (ВР-5), приблизительно в 10 раз выше, чем в экстракте из мицелия, выращенного в темноте (ВР-6). Ранее, мы определили, что *I. rheades* содержит в мицелии водорастворимые вещества, обладающие вирулицидными свойствами в отношении ВКЭ [24]. В данной работе было показано, что их накопление стимулируется освещением синим светом.

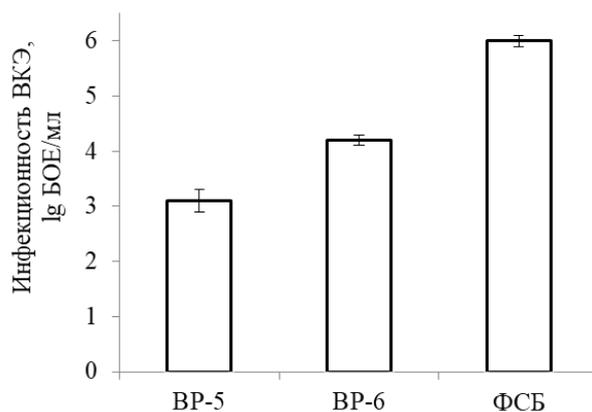


Рис. 3. Вирулицидное действие в отношении ВКЭ экстрактов ВРПС, приведенных к нормальной кислотности растворов (рабочая концентрация 0,4 мг/мл). ВР-5 – экстракт из мицелия, выращенного при освещении синим светом; ВР-6 – экстракт из мицелия, выращенного в темноте; ФСБ – образец ВКЭ, обработанный фосфатно-солевым буфером ($\text{pH} = 7,4$). Планки погрешностей отражают стандартное отклонение средних значений по результатам трех независимых воспроизведений эксперимента

Fig. 3. Virucidal action against TBEV of extracts of WSPS reduced to normal acidity of solutions (working concentration 0.4 mg/ml). ВР-5 – extract from mycelium grown under blue light illumination; ВР-6 – extract from mycelium grown in the dark; ФСБ – TBEV sample treated with phosphate-buffered saline ($\text{pH} = 7.4$). Error bars represent the standard deviation of the means from three independent replicates of the experiment

Несмотря на то что грибы не содержат хлорофилла, они весьма чувствительны к свету. Свет регулирует развитие и рост грибов, морфогенез и биосинтез веществ первичного и вторичного метаболизма. Большинство видов «видят» синий свет. Некоторые виды грибов реагируют и на остальную часть видимого спектра, а также на ультрафиолет (см., например, [25]). Работ по стимуляции антиоксидантных свойств экстрактов из грибов и накоплению потенциально противоопухолевых веществ освещением не так уж мало [26–32]. Но в то же время практически не встре-

чаются публикации по исследованию стимуляции накопления веществ, имеющих противовирусную активность. В качестве близкой по тематике можно привести работу [33], где показано многократное увеличение биосинтеза шикимовой кислоты – предшественника синтетического ингибитора вирусной нейраминидазы в противовирусном препарате Тамифлю, в мицелии вешенки в ответ на освещение синим светом. Нет сомнений, что вещества, имеющие противовирусные свойства и накапливающиеся в грибах в ответ на стимуляцию светом, существуют. Более того, возможно, они уже известны науке, учитывая широкий спектр найденных противовирусных свойств экстрактов из грибов [34], но светочувствительность индукции их накопления пока не исследовалась.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные эксперименты подтвердили гипотезу о том, что в мицелии *I. rheades* содержатся соединения, проявляющие противовирусную, антипролиферативную и антиоксидантную активность. Как было обнаружено ранее, возможность синтеза этих соединений определяется субстратом, на котором выращивается мицелий. В данной работе показано, что их накопление стимулируется освещением синим светом. Необходимы дальнейшие исследования для более точной идентификации активных соединений, выявления их биологических свойств, определения мишеней воздействия. Регуляция параметров освещения мицелия, используемого в качестве сырья в биотехнологии, является актуальной, поскольку позволяет существенно увеличить выход и повысить эффективность биологических свойств целевых веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tisch D., Schmoll M. Light regulation of metabolic pathways in fungi // *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2010. Vol. 85. P. 1259–1277. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2320-1>
2. Purschwitz J., Müller S., Kastner C., Fischer R. Seeing the rainbow: light sensing in fungi // *Current Opinion in Microbiology*. 2006. Vol. 9. Issue 6. P. 566–571. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2006.10.011>
3. Herrera-Estrella A., Horwitz B.A. Looking through the eyes of fungi: molecular genetics of photoreception // *Molecular Microbiology*. 2007. Vol. 64. Issue 1. P. 5–15. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2007.05632.x>
4. Поединок Н.Л., Ефременкова О.В., Михайлова О.Б., Негрийко А.М. Биосинтетическая активность некоторых высших лекарственных грибов после световых воздействий // *Успехи медицинской микологии*. 2007. Т. 9. С. 176–178.
5. Manachere G. Research on the fruiting rhythm of a basidiomycete mushroom *Coprinus congregatus* Bull. Ex Fr. // *Journal of interdisciplinary cycle research*. 1971. Vol. 2. Issue 2. P. 199–209.
6. Namba K., Inatomi S., Mori K., Shimosaka M., Okazaki M. Effects of LED lights on fruiting-body production in *Hypsizigus marmoreus* // *Mushroom Science and Biotechnology*. 2002. Vol. 10. P. 141–146. https://doi.org/10.24465/apmsb.10.3_141
7. Hu S.-H., Wu C.-Y., Chen Y.-K., Wang J.-C., Chang S.-J. Effect of light and atmosphere on the cultivation of the golden oyster culinary-medicinal mushroom, *Pleurotus citrinopileatus* (higher Basidiomycetes) // *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2013. Vol. 15. P. 101–111. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushr.v15.i1.110>
8. Nakano Y., Fujii H., Kojima M. Identification of blue-light photoresponse genes in Oyster Mushroom mycelia // *Biochemistry & Molecular Biology Communications*. 2010. Vol. 74. Issue 10. P. 2160–2165. <https://doi.org/10.1271/bbb.100565>
9. Hao J. Chen X., Lan J. Effect of light quality on growth and polysaccharides content of *Ganoderma lucidum* // *China Journal of Chinese Materia Medica*. 2010. Vol. 35. Issue 17. P. 2242–2245.
10. Mei X.-L., Zhao Z., Chen X.-D., Lan J. Light quality regulation of growth and endogenous IAA metabolism of *Ganoderma lucidum* mycelium // *Chinese Journal of Natural Medicines*. 2013. Vol. 38. Issue 12. P. 1887–1892. <https://doi.org/10.4268/cjcm20131209>
11. Zhang L.Q. Effect of UV on the growth of *Inonotus obliquus* and the content of polysaccharide // *Renshen Yanjiu*. 2008. Vol. 9. P. 16–19.
12. Poyedinok N.L., Mykhailova O.B., Shcherba V.V., Buchalo A.S., Negryko A.M. Light regulation of growth and biosynthetic activity of Ling Zhi or Reishi medicinal mushroom, *Ganoderma lucidum* (W. Curt.: Fr.) P. Karst. (Aphyllphoromycetideae), in pure culture // *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2008. Vol. 10. Issue 4. P. 369–378. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushr.v10.i4.100>
13. Zheng W., Zhang M., Zhao Y., Miao K., Jiang H. NMR-based metabonomic analysis on effect of light on production of antioxidant phenolic compounds in submerged cultures of *Inonotus obliquus* // *Bioresource Technology*. 2009. Vol. 100. Issue 19. P. 4481–4487. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.04.027>
14. Горностай Т.Г., Полякова М.С., Боровский Г.Б., Оленников Д.Н. Липиды *Inonotus rheades* (Нуменочаетасеае): влияние субстрата и светового режима на жирнокислотный профиль мицелия // *Химия растительного сырья*. 2018. N 1. С. 105–111. <https://doi.org/10.14258/jcprm.2018012713>
15. Gornostai T.G., Borovskii G.G., Kashchenko N.I., Olennikov D.N. Phenolic Compounds of *Inonotus rheades* (Agaricomycetes) Mycelium: RP-UPLC-DAD-ESI/MS Profile and Effect of Light Wavelength on the Styrylpyrone Content // *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2018. Vol. 20. Issue 7. P. 637–645 <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2018026595>
16. Babitskaya V.G., Shcherba V.V., Puchkova

T.A., Smirnov D.A., Bis'ko N.A., Poyedinok N.L. Effect of conditions of submerged culturing of a medicinal fungus *Ganoderma lucidum* (reishi) on polysaccharide production // *Biotechnology in Russia*. 2007. Issue 6. P. 42–52.

17. Preito P., Pineda M., Aguilar M. Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E // *Analytical Biochemistry*. 1999. Vol. 269. Issue 2. P. 337–341. <https://doi.org/10.1006/abio.1999.4019>

18. Ding H.-Y., Chou T.-H., Liang C.-H. Antioxidant and antimelanogenic properties of rosmarinic acid methyl ester from *Origanum vulgare* // *Food Chemistry*. 2010. Vol. 123. Issue 2. P. 254–262. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.025>

19. Giard D.J., Aaronson S.A., Todaro G.J., Arnstein P., Kersey J.H., Dosik H., et al. *In vitro* cultivation of human tumors: establishment of cell lines derived from a series of solid tumors // *Journal of the National Cancer Institute*. 1973. Vol. 51. P. 1417–1423. <https://doi.org/10.1093/jnci/51.5.1417>

20. Хаснатинов М.А., Данчинова Г.А., Злобин В.И., Ляпунов А.В., Арбатская Е.В., Чапоргина Е.А. [и др.]. Вирус клещевого энцефалита в Монголии // *Сибирский медицинский журнал (Иркутск)*. 2012. Т. 111. N 4. С. 9–12.

21. Gould E.A., Clegg J.C.S. Growth, titration and purification of togaviruses. In: Mahy B.W.J. (ed.), *Virology: A Practical Approach*. Oxford: IRL Press Ltd., 1985. P. 43–78.

22. Kim G.-Y., Lee J.-Y., Lee J.-O., Ryu C.-H., Choi B.T., Jeong Y.-K., et al. Partial Characterization and Immunostimulatory Effect of a Novel Polysaccharide-Protein Complex Extracted from *Phellinus linteus* // *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry*. 2006. Vol. 70. Issue 5. P. 1218–1226. <https://doi.org/10.1271/bbb.70.1218>

23. Fan L., Ding S., Ai L., Deng K. Antitumor and immunomodulatory activity of water-soluble polysaccharide from *Inonotus obliquus* // *Carbohydrate Polymers*. 2012. Vol. 90. Issue 2. P. 870–874. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.06.013>

24. Горностай Т.Г., Хаснатинов М.А., Соловаров И.С., Данчинова Г.А., Боровский Г.Б. Противовирусные свойства водных экстрактов мицелия *Inonotus rheades* в отношении вируса клещевого энцефалита *in vitro* // *Актуальные проблемы науки Прибайкалья: сб. ст. / отв. ред. И.В. Бычков, А.Л. Казаков. Вып. 3. Иркутск: Изд-во ИГУ, 2020. С. 21–25.*

25. Corrochano L.M. Light in the Fungal World: From Photoreception to Gene Transcription and Be-

yond // *Annual Review of Genetics*. 2019. Vol. 53. P. 149–170. <https://doi.org/10.1146/annurev-genet-120417-031415>

26. Vance C.P., Tregunna E.B., Nambudiri A.M., Towers G.H. Styrylpyrone biosynthesis in *Polyporus hispidus*: I. Action spectrum and photoregulation of pigment and enzyme formation // *Biochimica et Biophysica Acta*. 1974. Vol. 343. Issue 1. P. 138–147. [https://doi.org/10.1016/0304-4165\(74\)90245-1](https://doi.org/10.1016/0304-4165(74)90245-1)

27. Oh T.-J., Hyun S.-H., Lee S.-G., Chun Y.-J., Sung G.-H., Choi H.-K. NMR and GC-MS based metabolic profiling and free-radical scavenging activities of *Cordyceps pruinosa* mycelia cultivated under different media and light conditions // *PLoS One*. 2014. Vol. 9. Issue 6. P. e90823. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090823>

28. Buffoni Hall R.S., Bornman J.F., Bjorn L.O. UV-induced changes in pigment content and light penetration in the fruticose lichen *Cladonia arbuscula* ssp. mitis // *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2002. Vol. 66. Issue 1. P. 13–20. [https://doi.org/10.1016/s1011-1344\(01\)00270-6](https://doi.org/10.1016/s1011-1344(01)00270-6)

29. Avalos J., Schrott E.L. Photoinduction of carotenoid biosynthesis in *Gibberella fujikuroi* // *FEMS Microbiology Letters*. 1990. Vol. 66. Issue 1-3. P. 295–298. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1990.tb04014.x>

30. Kim H., Son H., Lee Y.W. Effects of light on secondary metabolism and fungal development of *Fusarium graminearum* // *Journal of Applied Microbiology*. 2013. Vol. 116. Issue 2. P. 380–389. <https://doi.org/10.1111/jam.12381>

31. Zalokar M. Biosynthesis of carotenoids in *Neurospora* action spectrum of photoactivation // *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 1955. Vol. 56. Issue 2. P. 318–25. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(55\)90252-6](https://doi.org/10.1016/0003-9861(55)90252-6)

32. Poyedinok N.L. Light regulation of growth and melanin formation in *Inonotus obliquus* (Pers.) *Pilat* // *Biotechnologia Acta*. 2013. Vol. 6. Issue 2. P. 115–20. <https://doi.org/10.15407/biotech6.02.115>

33. Kojima M., Kimura N., Miura R. Regulation of primary metabolic pathways in Oyster Mushroom mycelia induced by blue light stimulation: accumulation of shikimic acid // *Scientific Reports*. 2015. Vol. 5. P. 8630. <https://doi.org/10.1038/srep08630>

34. Linnakoski R., Reshamwala D., Veteli P., Cortina-Escribano M., Vanhanen H., Marjomäki V. Antiviral agents from fungi: diversity, mechanisms and potential applications // *Frontiers in Microbiology*. 2018. Vol. 9. P. 2325. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02325>

REFERENCES

1. Tisch D, Schmoll M. Light regulation of metabolic pathways in fungi. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2010;85:1259–1277. <https://doi.org/10.1007/s00253-009-2320-1>

2. Purschwitz J, Müller S, Kastner C, Fischer R. Seeing the rainbow: light sensing in fungi. *Current*

Opinion in Microbiology. 2006;9(6):566–571. <https://doi.org/10.1016/j.mib.2006.10.011>

3. Herrera-Estrella A, Horwitz BA. Looking through the eyes of fungi: molecular genetics of photoreception. *Molecular Microbiology*. 2007;64(1):5–15. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2958.2007.05632.x>

4. Poyedinok NL, Yefremenkova OV, Mikhaylova OB, Negriyko AM. Biosynthetic activity of some higher medicinal mushrooms after exposure to light. *Uspekhi meditsinskoi mikologii = Advances in Medical Mycology*. 2007;9:176-178. (In Russian)
5. Manachere G. Research on the fruiting rhythm of a basidiomycete mushroom *Coprinus congregatus* Bull. Ex Fr. *Journal of interdisciplinary cycle research*. 1971;2(2):199-209.
6. Namba K., Inatomi S., Mori K., Shimosaka M., Okazaki M. Effects of LED lights on fruiting-body production in *Hypsizigus marmoreus*. *Mushroom Science and Biotechnology*. 2002;10:141-146. https://doi.org/10.24465/apmsb.10.3_141
7. Hu S-H, Wu C-Y, Chen Y-K, Wang J-C, Chang S-J. Effect of light and atmosphere on the cultivation of the golden oyster culinary-medicinal mushroom, *Pleurotus citrinopileatus* (higher Basidiomycetes). *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2013;15:101-111. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushr.v15.i1.110>
8. Nakano Y, Fujii H, Kojima M. Identification of blue-light photoreponse genes in Oyster Mushroom mycelia. *Biochemistry & Molecular Biology Communications*. 2010;74(10):2160-2165. <https://doi.org/10.1271/bbb.100565>
9. Hao J, Chen X, Lan J. Effect of light quality on growth and polysaccharides content of *Ganoderma lucidum*. *China Journal of Chinese Materia Medica*. 2010;35(17):2242-2245.
10. Mei X-L, Zhao Z, Chen X-D, Lan J. Light quality regulation of growth and endogenous IAA metabolism of *Ganoderma lucidum* mycelium. *Chinese Journal of Natural Medicines*. 2013;38(12):1887-1892. <https://doi.org/10.4268/cjcm20131209>
11. Zhang LQ. Effect of UV on the growth of *Inonotus obliquus* and the content of polysaccharide. *Renshen Yanjiu*. 2008;9:16-19.
12. Poyedinok NL, Mykhailova OB, Shcherba VV, Buchalo AS, Negriyko AM. Light regulation of growth and biosynthetic activity of Ling Zhi or Reishi medicinal mushroom, *Ganoderma lucidum* (W. Curt.: Fr.) P. Karst. (Aphyllphoromycetidae), in pure culture. *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2008;10(4):369-378. <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushr.v10.i4.100>
13. Zheng W, Zhang M, Zhao Y, Miao K, Jiang H. NMR-based metabonomic analysis on effect of light on production of antioxidant phenolic compounds in submerged cultures of *Inonotus obliquus*. *Biore-source Technology*. 2009;100(19):4481-4487. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.04.027>
14. Gornostai TG, Poliakova MS, Borovskii GB, Olennikov DN. Lipids of *Inonotus rheades* (Hymenochaetaceae): Influence of substrate and light mode on fatty acid profile of mycelium. *Khimija rastitel'nogo syr'ja = Chemistry of plant raw material*. 2018;1:105-111. (In Russian) <https://doi.org/10.14258/jcprm.2018012713>
15. Gornostai TG, Borovskii GG, Kashchenko NI, Olennikov DN. Phenolic Compounds of *Inonotus rheades* (Agaricomycetes) Mycelium: RP-UPLC-DAD-ESI/MS Profile and Effect of Light Wavelength on the Styrylpyrone Content. *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2018;20(7):637-645 <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2018026595>
16. Babitskaya VG, Shcherba VV, Puchkova TA, Smirnov DA, Bis'ko NA, Poyedinok NL. Effect of conditions of submerged culturing of a medicinal fungus *Ganoderma lucidum* (reishi) on polysaccharide production. *Biotechnology in Russia*. 2007;6:42-52.
17. Preto P, Pineda M, Aguilar M. Spectrophotometric quantitation of antioxidant capacity through the formation of a phosphomolybdenum complex: specific application to the determination of vitamin E. *Analytical Biochemistry*. 1999;269(2):337-341. <https://doi.org/10.1006/abio.1999.4019>
18. Ding H-Y, Chou T-H, Liang C-H. Antioxidant and antimelanogenic properties of rosmarinic acid methyl ester from *Origanum vulgare*. *Food Chemistry*. 2010;123(2):254-262. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.04.025>
19. Giard DJ, Aaronson SA, Todaro GJ, Arnstein P, Kersey JH, Dosik H, et al. *In vitro* cultivation of human tumors: establishment of cell lines derived from a series of solid tumors. *Journal of the National Cancer Institute*. 1973;51:1417-1423. <https://doi.org/10.1093/jnci/51.5.1417>
20. Khasnatinov MA, Danchinova GA, Zlobin VI, Lyapunov AV, Arbatskaya EV, Chaporgina EA, et al. Tick-borne encephalitis virus in Mongolia. *Sibirskii meditsinskii zhurnal (Irkutsk) = Siberian Medical Journal (Irkutsk)*. 2012;111(4):9-12. (In Russian)
21. Gould EA, Clegg JCS. Growth, titration and purification of togaviruses. In: Mahy BWJ. (ed.), *Virology: A Practical Approach*. Oxford: IRL Press Ltd.; 1985. p. 43-78.
22. Kim G-Y, Lee J-Y, Lee J-O, Ryu C-H, Choi BT, Jeong Y-K, et al. Partial Characterization and Immunostimulatory Effect of a Novel Polysaccharide-Protein Complex Extracted from *Phellinus linteus*. *Bio-science, Biotechnology, and Biochemistry*. 2006; 70(5): 1218-1226. <https://doi.org/10.1271/bbb.70.1218>
23. Fan L, Ding S, Ai L, Deng K. Antitumor and immunomodulatory activity of water-soluble polysaccharide from *Inonotus obliquus*. *Carbohydrate Polymers*. 2012;90(2):870-874. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2012.06.013>
24. Gornostai TG, Khasnatinov MA, Solovarov IS, Danchinova GA, Borovskii GB. Antiviral properties of water extracts of mycelium *Inonotus rheades*, against the virus of tick-borne encephalitis virus *in vitro*. In: Bychkov IV, Kazakov AL (eds.). *Aktualnye problemy nauki Pribaikalya*. Issue 3. Irkutsk: Izdatel'stvo Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta; 2020. p. 21-25. (In Russian)
25. Corrochano LM. Light in the Fungal World: From Photoreception to Gene Transcription and Beyond. *Annual Review of Genetics*. 2019;53:149-170. <https://doi.org/10.1146/annurev-genet-120417-031415>

26. Vance CP, Tregunna EB, Nambudiri AM, Towers GH. Styrylpyrone biosynthesis in *Polyporus hispidus*: I. Action spectrum and photoregulation of pigment and enzyme formation. *Biochimica et Biophysica Acta*. 1974;343(1):138–147. [https://doi.org/10.1016/0304-4165\(74\)90245-1](https://doi.org/10.1016/0304-4165(74)90245-1)

27. Oh T-J, Hyun S-H, Lee S-G, Chun Y-J, Sung G-H, Choi H-K. NMR and GC-MS based metabolic profiling and free-radical scavenging activities of *Cordyceps pruinosa* mycelia cultivated under different media and light conditions. *PLoS One*. 2014;9(6):e90823. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0090823>

28. Buffoni Hall RS, Bornman JF, Bjorn LO. UV-induced changes in pigment content and light penetration in the fruticose lichen *Cladonia arbuscula* ssp. *Mitis*. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*. 2002;66(1):13–20. [https://doi.org/10.1016/S1011-1344\(01\)00270-6](https://doi.org/10.1016/S1011-1344(01)00270-6)

29. Avalos J, Schrott EL. Photoinduction of carotenoid biosynthesis in *Gibberella fujikuroi*. *FEMS Microbiology Letters*. 1990;66(1-3):295–298. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1990.tb04014.x>

30. Kim H, Son H, Lee YW. Effects of light on secondary metabolism and fungal development of *Fusarium graminearum*. *Journal of Applied Microbiology*. 2013;116(2):380–389. <https://doi.org/10.1111/jam.12381>

31. Zalokar M. Biosynthesis of carotenoids in *Neurospora* action spectrum of photoactivation. *Archives of Biochemistry and Biophysics*. 1955;56(2):318–25. [https://doi.org/10.1016/0003-9861\(55\)90252-6](https://doi.org/10.1016/0003-9861(55)90252-6)

32. Poyedinok NL. Light regulation of growth and melanin formation in *Inonotus obliquus* (Pers.) *Pilat*. *Biotechnologia Acta*. 2013;6(2):115–20. <https://doi.org/10.15407/biotech6.02.115>

33. Kojima M, Kimura N, Miura R. Regulation of primary metabolic pathways in Oyster Mushroom mycelia induced by blue light stimulation: accumulation of shikimic acid. *Scientific Reports*. 2015;5:8630. <https://doi.org/10.1038/srep08630>

34. Linnakoski R, Reshamwala D, Veteli P, Cortina-Escribano M, Vanhanen H, Marjomäki V. Antiviral agents from fungi: diversity, mechanisms and potential applications. *Frontiers in Microbiology*. 2018;9:2325. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.02325>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Боровский Геннадий Борисович,

д.б.н., профессор,
главный научный сотрудник,
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132,
Российская Федерация,
✉ e-mail: borovskii@sifibr.irk.ru

Горностай Татьяна Геннадьевна,

к.фарм.н., научный сотрудник,
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132,
Российская Федерация,
e-mail: t.g.gornostay@yandex.ru

Полякова Марина Станиславовна,

ведущий инженер,
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132,
Российская Федерация,
e-mail: poljakova.m@gmail.com

Боровская Марина Казимировна,

ведущий инженер,
Сибирский институт физиологии
и биохимии растений СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 132,
Российская Федерация,
e-mail: marbor1964@yandex.ru

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Gennadii B. Borovskii,

Dr. Sci. (Biology), Professor,
Chief Researcher,
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS,
132, Lermontov St., Irkutsk, 664033,
Russian Federation,
✉ e-mail: borovskii@sifibr.irk.ru

Tatyana G. Gornostai,

Cand. Sc. (Pharmacy), Researcher,
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS,
132, Lermontov St., Irkutsk, 664033,
Russian Federation,
e-mail: t.g.gornostay@yandex.ru

Marina S. Polyakova,

Leading Engineer,
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS,
132, Lermontov St., Irkutsk, 664033,
Russian Federation,
e-mail: poljakova.m@gmail.com

Marina K. Borovskaja,

Leading Engineer,
Siberian Institute of Plant Physiology
and Biochemistry SB RAS,
132, Lermontov St., Irkutsk, 664033,
Russian Federation,
e-mail: marbor1964@yandex.ru

Хаснатинов Максим Анатольевич,
д.б.н., ведущий научный сотрудник,
Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение
«Научный центр проблем здоровья семьи
и репродукции человека»,
664033, г. Иркутск, ул. Тимирязева, 16,
Российская Федерация,
e-mail: khasnatinov@yandex.ru

Соловаров Иннокентий Сергеевич,
младший научный сотрудник,
Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение
«Научный центр проблем здоровья семьи
и репродукции человека»,
664033, г. Иркутск, ул. Тимирязева, 16,
Российская Федерация,
e-mail: keschass@mail.ru

Данчинова Галина Анатольевна,
д.б.н., заведующая лабораторией
трансмиссивных инфекций,
Федеральное государственное бюджетное
научное учреждение
«Научный центр проблем здоровья семьи
и репродукции человека»,
664033, г. Иркутск, ул. Тимирязева, 16,
Российская Федерация,
e-mail: dan-chin@yandex.ru

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили оконча-
тельный вариант рукописи.*

*Поступила в редакцию 12.03.2020.
Одобрена после рецензирования 26.05.2020.
Принята к публикации 28.02.2021.*

Maxim A. Khasnatinov,
Dr. Sci. (Biology), Leading Research,
Federal State Public Scientific Institution
“Scientific Centre for Family Health
and Human Reproduction Problems”,
16, Timiryazeva St., Irkutsk, 664033,
Russian Federation,
e-mail: khasnatinov@yandex.ru

Innokentiy S. Solovarov,
Junior Research,
Federal State Public Scientific Institution
“Scientific Centre for Family Health
and Human Reproduction Problems”,
16, Timiryazeva St., Irkutsk, 664033,
Russian Federation,
e-mail: keschass@mail.ru

Galina A. Danchinova,
Dr. Sci. (Biology),
Head of the Lab. of Vector-borne Infections,
Federal State Public Scientific Institution
“Scientific Centre for Family Health
and Human Reproduction Problems”,
16, Timiryazeva St., Irkutsk, 664033,
Russian Federation,
e-mail: dan-chin@yandex.ru

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests re-
garding the publication of this article.

*The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.*

*The article was submitted 12.03.2020.
Approved after reviewing 26.05.2020.
Accepted for publication 28.02.2021.*