

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

БИОЛОГИЯ
BIOLOGY

УДК 579.64: 582.28: 579.25
<https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-5-567-573>

Поступило в редакцию 27.02.2020
Received 27.02.2020

**Я. С. Камельчук¹, О. Ю. Баранов², П. С. Кирьянов²,
член-корреспондент В. Е. Падутов²**

¹Полесский государственный университет, Пинск, Республика Беларусь

²Институт леса Национальной академии наук Беларуси, Гомель, Республика Беларусь

**МОРФОЛОГО-КУЛЬТУРАЛЬНЫЕ И МОЛЕКУЛЯРНО-ГЕНЕТИЧЕСКИЕ
ОСОБЕННОСТИ КОЛЛЕКЦИОННЫХ ШТАММОВ МИКОРИЗНЫХ ГРИБОВ
PHIALOCEPHALA FORTINII И *PEZICULA* SP.**

Аннотация. Проведен метагеномный анализ эндофитной микрофлоры корневых систем *Vaccinium corymbosum* L. и *Vaccinium myrtillus* L. Идентифицированы два доминирующих вида микромицетов, формирующих эрикоидную микоризу – *Phialocephala fortinii* C. J. K. Wang & H. E. Wilcox и *Pezicula* sp. Tul. & C. Tul. Созданы чистые культуры микоризных грибов, проведена комплексная морфологическая и генетическая оценка штаммов. На основании результатов генетико-таксономического анализа подтверждено предположение о полифилетическом происхождении видов, относящихся к *Phialocephala* и *Pezicula*.

Ключевые слова: микоризные грибы, морфолого-культуральные особенности, секвенирование, молекулярная систематика

Для цитирования. Морфолого-культуральные и молекулярно-генетические особенности коллекционных штаммов микоризных грибов *Phialocephala fortinii* и *Pezicula* sp. / Я. С. Камельчук [и др.] // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2020. – Т. 64, № 5. – С. 567–573. <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-5-567-573>

**Yanina S. Kamelchuk¹, Oleg Yu. Baranov², Pavel S. Kiryanov²,
Corresponding Member Vladimir E. Padutov²**

¹Polesky State University, Pinsk, Republic of Belarus

²Forest Research Institute of the National Academy of Sciences of Belarus, Gomel, Republic of Belarus

**MORPHOLOGICAL-CULTURAL AND MOLECULAR GENETIC FEATURES
OF COLLECTION STRAINS OF MYCORIS MUSHROOMS *PHIALOCEPHALA FORTINII*
AND *PEZICULA* SP.**

Abstract. A metagenomic analysis of the endophytic microflora of *Vaccinium corymbosum* L. and *Vaccinium myrtillus* L. root systems was carried out. Two dominant species of micromycetes forming ericoid mycorrhiza were identified – *Phialocephala fortinii* C. J. K. Wang & H. E. Wilcox and *Pezicula* sp. Tul. & C. Tul. Pure cultures of mycorrhizal fungi were prepared, a comprehensive morphological and genetic assay of the strains was carried out. Based on the results of genetic-taxonomic analysis, the assumption of the polyphyletic origin of species belonging to *Phialocephala* and *Pezicula* is confirmed.

Keywords: mycorrhizal fungi, morphological and cultural features, sequencing, molecular systematics

For citation: Kamelchuk Ya. S., Baranov O. Yu., Kiryanov P. S., Padutov V. E. Morphological-cultural and molecular genetic features of collection strains of mycoris mushrooms *Phialocephala fortinii* and *Pezicula* sp. *Doklady Natsional'noi akademii nauk Belarusi = Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus*, 2020, vol. 64, no. 5, pp. 567–573 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1561-8323-2020-64-5-567-573>

Введение. Одним из актуальных направлений в биотехнологии растений является разработка инновационных подходов биотизации посадочного материала, включая создание полифункциональных препаратов нового поколения – с прогнозируемой микробной структурой и физиологической активностью, формирующих стабильный многокомпонентный экто- и эндосимбиоз

с корневыми системами на различных этапах онтогенеза. Перспективу для развития ряда современных технологий растениеводства имеют ассоциации микроорганизмов с растениями, искусственно создаваемые *in vitro* и *ex vitro*. Речь идет об усовершенствовании методов микроклонального размножения как средства получения высококачественного посадочного материала культуры растений, сохранения редких видов растений, а также ягодных культур, представляющих интерес как источника ценных биологически активных соединений. При этом используется инокуляция микроклонов на стадии *ex vitro* микоризными грибами. Однако технологии инокуляции адаптантов симбионтами пока не получили широкого распространения по техническим причинам, одной из которых является видовая специфика микоризных грибов.

Отличительной особенностью всех представителей рода *Vaccinium* является строение их корневой системы, а именно отсутствие корневых волосков, обычно выполняющих функции всасывания питательных веществ и воды, недостаток которых в отсутствие микоризации при переносе клонированных растений *ex vitro* и последующем их выращивании в условиях закрытого и открытого грунта значительно снижает адаптивные способности растений, замедляет рост и развитие. Особенно важным для решения этих задач в микробных технологиях являются подходы и приемы, основанные на экологически безопасных методах биологического земледелия, в которых используется ассоциативная микрофлора с микоризными грибами.

Исходя из всего вышесказанного, целью данного исследования явилось проведение метагеномного анализа микофлоры корневых систем *Vaccinium* spp., определение доминирующих видов-микоризообразователей, введение их в чистую культуру, изучение основных морфолого-культуральных и молекулярно-генетических особенностей.

Материалы и методы исследования. В качестве экспериментального материала были использованы корневые окончания представителей рода *Vaccinium*: культурный вид – *Vaccinium corymbosum* L. (сорта Блюкроп и Патриот) и аборигенный вид – *Vaccinium myrtillus* L. Плантационные культуры голубики и естественные ценопопуляции черники произрастали в одних и тех же эколого-климатических условиях (Барановичский район, координаты 52°55' с. ш.; 25°50' в. д.).

Выделение в чистую культуру микоризных грибов проводили в несколько этапов, согласно протоколу, описанному в предыдущих публикациях авторов [1]. Первым этапом являлось механическое удаление с корней почвенных частиц [2]. На втором этапе производилась многостадийная поверхностная стерилизация и отмывка корней с использованием растворов ПАВ, стерильной дистиллированной воды, 3 %-ного раствора гипохлорита натрия (бытовой отбеливатель), 70 %-ного раствора этилового спирта [1–3]. Третий этап включал в себя экспозицию фрагментов корней на твердых питательных средах [1; 3].

Культурально-морфологические параметры штаммов микромицетов описывали после 14 суток инкубации в термостате в темноте при +24 °С, на агаровой среде картофеля с декстрозой (40 г/л) и агаровой 2 %-ной кукурузной среде (20 г/л) в чашках Петри с внутренним диаметром 90 мм [4–8].

Молекулярно-генетическая диагностика микромицетов была основана на использовании видоспецифичных особенностей нуклеотидной структуры внутренних транскрибируемых спейсеров (ITS1 и ITS2) рДНК грибных организмов. При этом для описания сообществ микромицетов были использованы метагеномные подходы, основанные на анализе межвидового полиморфизма длин локусов ITS1 и ITS2 [9]. Идентификация чистых культур или моновидового биологического материала микромицетов осуществлялась посредством секвенирования диагностических локусов и анализа полученных данных в международной базе данных GeneBank NCBI [10].

Результаты и их обсуждение. Проведенное молекулярно-генетическое изучение микробиомов корневых окончаний позволило идентифицировать широкий спектр видов грибов, относящихся к родам *Botryosphaeria*, *Chaetomium*, *Cylindrocarpon*, *Gaeumannomyces*, *Lachnum*, *Leptosphaeria*, *Neonectria*, *Oidiodendron*, *Pezicula*, *Phialocephala*, *Phomopsis*, *Trichoderma*, *Umbelopsis*. В большинстве случаев электрофоретические спектры ПЦР-продуктов каждого из проанализированных образцов корневых окончаний были представлены генетическим материалом 4–6 основных (с долевым участием в сообществе (P_i) более 5 %) видов микромицетов (рис. 1). Количество ПЦР-детектируемых сопутствующих ($P_i < 5$ %) или находящихся в следовом количестве

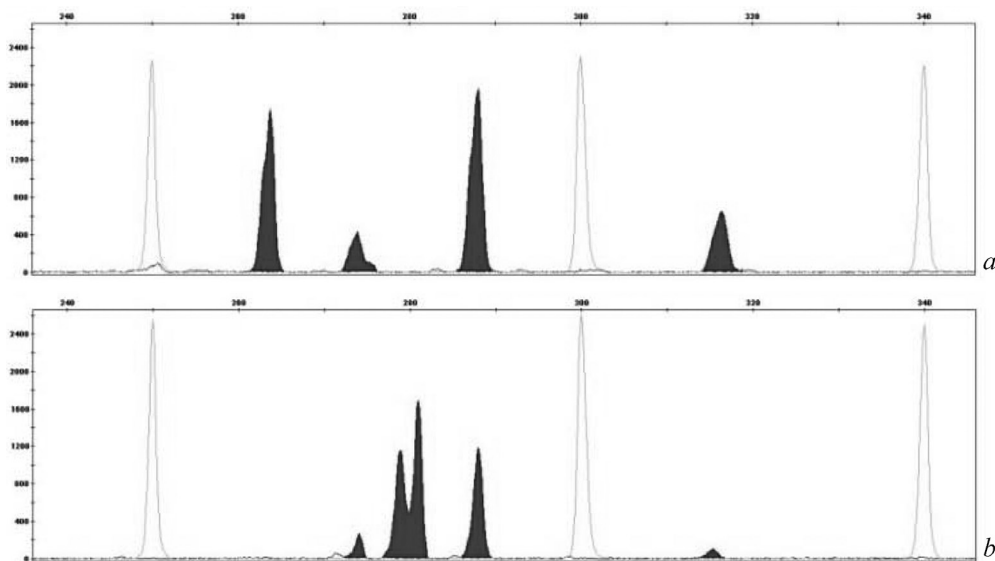


Рис. 1. Электрофоретические спектры локуса ITS1 микромицетов, представленных в корневых окончаниях *V. corymbosum* (a) и *V. myrtilus* (b)

Fig. 1. Electrophoretic spectra of the ITS1 locus of micromycetes presented in the root endings of *V. corymbosum* (a) and *V. myrtilus* (b)

($P_i < 0,1\%$) видов для разных образцов варьировало в существенной степени – 3–22. В качестве объектов дальнейших исследований из генетически идентифицированных видов грибов были отобраны два микромицета – *Phialocephala fortinii* C. J. K. Wang & H. E. Wilcox и *Pezicula* sp. Tul. & C. Tul. Ампликоны рДНК первого вида (291 н. о., сочетание праймеров ITS1F/ITS4) доминировали в электрофоретических спектрах образцов *V. corymbosum*, второго (284 н. о., сочетание праймеров ITS1F/ITS4) – *V. myrtilus*.

Последующее выделение микробиоты из корневых окончаний голубики и черники позволило создать чистые культуры для 28 видов, в которых также были верифицированы и акцентуализированы при проведении метагеномных исследований микромицеты *Ph. fortinii* (штамм 74(3)) и *Pezicula* sp. (штамм 76). Указанные штаммы были депонированы в Белорусской коллекции непатогенных микроорганизмов ГНУ «Институт микробиологии НАН Беларуси» (*Phialocephala fortinii* БИМ F-773, *Pezicula* sp. БИМ F-772), нуклеотидные последовательности локусов рДНК штаммов зарегистрированы в международной базе генетических данных GenBank NCBI (МК356722.1, МК356723.1).

Морфолого-культуральные характеристики штамма 74(3) *Ph. fortinii* были следующие: мицелий бархатистый, черновато-серый, по краю с оливковым оттенком (рис. 2); край широкий, бахромчатый; реверзум черный; мицелий при старении в области инокуляции приподнятый; экссудат не образуется; через 2 недели мицелий на картофельно-глюкозном агаре (КГА) достигает 38 мм в диаметре, кукурузном агаре (КА) – 30 мм. Гифы с простыми септами, оливково-бурые, в воздушном мицелии диаметром 3–4 мкм, в субстрате до 10 мкм диаметром, слегка шероховатые, с многочисленными каплями внутри; в центре ковра на гифах встречаются кольца и петли; хламидоспоры редкие, округлой формы, шероховатые; конидиеносцы оливково-коричневые шероховатые, шириной 1,5–2 мкм, образуются через длительное время культивирования в темноте.

Чистые культуры штамма 76 *Pezicula* sp. характеризовались следующими морфологическими признаками: ковер мицелия пушистый, порошистый, в центре темно-коричневый, в срединной зоне – светло-коричневый с мелкими коричневыми вкраплениями, по краю с бледно-серыми и коричневыми уплотнениями (рис. 3); край ровный, широкий, белый; реверзум темно-коричневый; капли экссудата бурые; спороношение под лупой имеет вид серовато-коричневых бугорков; ковер через 14 дней достигает 50 мм в диаметре на кукурузной среде, на КГА – 21 мм. Гифы бесцветные или светло-коричневого цвета, шириной 3–6 мкм, с перегородками, гладкие с многочисленными каплями внутри. Конидиеносцы возникают из вертикальных гладких гиф,

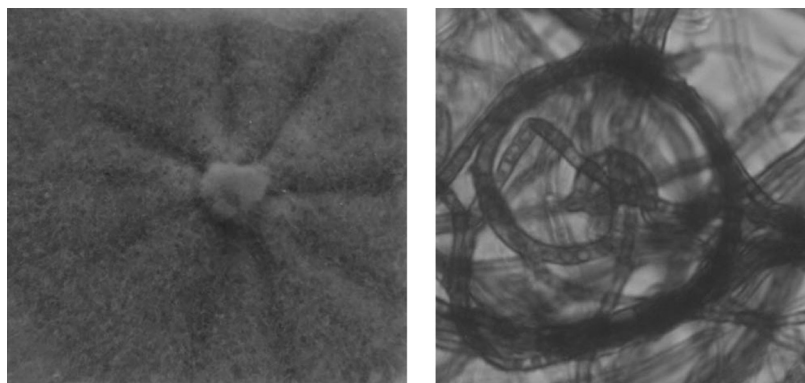


Рис. 2. Морфологический анализ штамма 74(3) *Phialocephala fortinii*: *a* – ковер мицелия в культуре на среде КГА; *b* – гифы мицелия из культуры на среде КГА

Fig. 2. Morphological analysis of strain 74(3) *Phialocephala fortinii*: *a* – mycelium carpet in culture on potato-glucose agar medium; *b* – mycelium hyphae from culture on potato-glucose agar medium

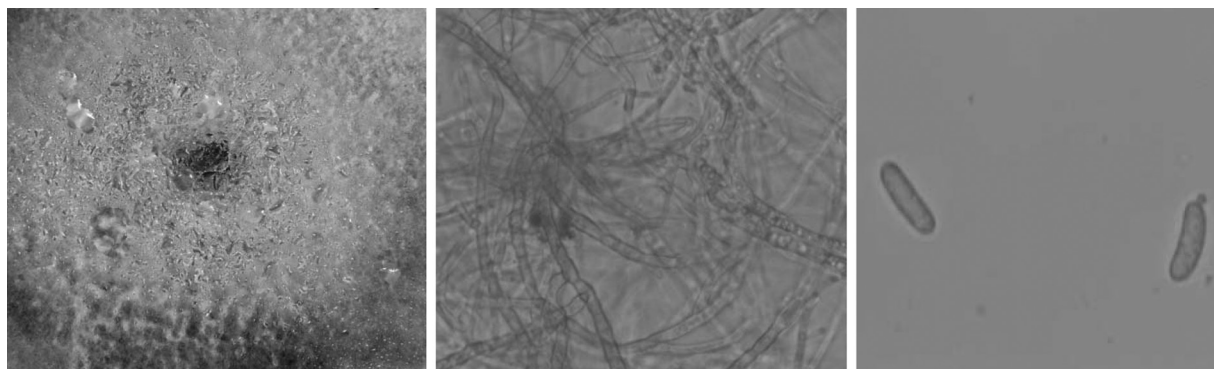


Рис. 3. Морфологический анализ штамма 76 *Pezicula* sp.: *a* – ковер мицелия в культуре на среде КА; *b* – гифы мицелия из культуры на среде КА; *c* – макроконидии из культуры на среде КА

Fig. 3. Morphological analysis of strain 76 *Pezicula* sp.: *a* – carpet of mycelium in culture on corn agar medium; *b* – mycelium hyphae from culture on corn agar medium; *c* – macroconidia from culture on corn agar medium

бесцветные. Конидии акрогенные, одноклеточные, $(15-25) \times (6-8)$ мкм, удлиненные или цилиндрические, слегка изогнутые, гладкие, толстостенные, бледно-золотисто-желтые, внутри зернистые.

Phialocephala fortinii представляет собой видовой комплекс анаморфных микромицетов (порядок Гелоциевые), широко распространенных в умеренных широтах и характеризующихся высокой способностью к образованию микориз с различными растительными организмами. Кроме формирования эктомикориз с древесными растениями, различные генотипы *Ph. fortinii* могут вести сапротрофный образ жизни, встречаться в качестве эндофитной микрофлоры или вызывать гниль корней. С представителями семейства Вересковые *Ph. fortinii*, как правило, образует эрикоидный тип микоризы, способствующей интенсификации обмена минеральных компонентов почвы и увеличению их доступности для усвоения корневыми системами, тем самым определяя повышение продуктивности и адаптивности растений в бедных эдафотопках.

Проведенный сравнительный анализ нуклеотидной структуры некодирующих локусов рибосомальной ДНК штамма 74(3) с образцами *Ph. fortinii*, представленными в базе данных GenBank NCBI, показал, что уровень генетических различий не превысил 2,5 %, составляя в среднем 0,9 %. Образцы с идентичными генотипами регионов рДНК относились к штаммам *Ph. fortinii*, диагностированным в корнях брусники, сосны и рододендрона из различных регионов Европы и Азии. Анализ внутривидовой изменчивости показал, что среди детектируемых SNP в транскрибируемой цепи спейсеров ITS1 и ITS2 в наибольшей степени были представлены транзиции $A \rightarrow G$ и $C \leftrightarrow T$ типов. Трансверсии $A \rightarrow C$, $A \rightarrow T$, $G \rightarrow C$, $G \leftrightarrow T$ составляли 20 % от общего числа выявленных нуклеотидных замещений. Структура гена, кодирующего 5,8S РНК, штамма 74(3) в большинстве случаев совпадала с образцами *Ph. fortinii* из GenBank NCBI, за исключением

трех вариантов последовательностей с единичными нуклеотидными заменами, что и обусловило в целом низкий уровень внутривидовых различий ($D < 0,1$ %). Рандомизированное для значительного числа образцов распределение SNP в пределах последовательностей, относящихся к рДНК, и дисперсно-групповой характер кластеризации генотипов на дендрограмме указывают на полифилетическое происхождение *Ph. fortinii*, что совпадает с результатами морфолого-анатомических исследований изолятов и штаммов данного вида, представленных в [4; 5].

Pezicula – род дискомицетов, принадлежащих к семейству Dermateaceae (отряд Helotiales). Согласно литературным данным, виды *Pezicula* представляют собой деструкторов мертвой древесины или являются эндофитами различных органов растений, включая ветви и стволы, листья и корни. Проведенный комплексный генетико-морфологический анализ показал, что род *Pezicula* также является полифилетическим, а существующая его систематическая структура требует ревизии [11].

Выравнивание нуклеотидных последовательностей образцов *Pezicula*, представленных в GenBank NCBI, относительно изолированного нами штамма 76 показало отсутствие полной идентичности для изолятов и штаммов с установленной видовой принадлежностью (рис. 4). Так, сходство перекрывающихся регионов с образцами наиболее родственных видов составляло: *P. melanigena* – 98,72–99,82 %, *P. radiculicola* – 99,58–99,82 %, *P. ericae* – 97,68–99,63 %. Проведенный анализ растительных объектов, из которых были выделены данные грибы, выявил, что специфичный для Вересковых *P. ericae* был приурочен к орхидеям, рододендрону, ясеню, *P. radiculicola* – дубу, буку, иве, осине, кардамину, *P. melanigena* – буку, ясеню, голубике.

Детектируемые различия в локусах ITS1 и ITS2 также были в основном связаны с нуклеотидными заменами, что не приводило к изменению их размеров у рассмотренных видов *Pezicula*. Как и в случае с *Ph. fortinii*, доминирующий характер полиморфизма выражался в транзициях $A \leftrightarrow G$ и $C \leftrightarrow T$. Количество выявленных трансверсий было в четыре раза ниже. Размер и нуклеотидная структура гена 5,8S РНК среди сравниваемых образцов из GenBank NCBI были сходными.

В целом, сопоставление результатов генетико-таксономического анализа с использованием в качестве ДНК-маркеров ITS1 и ITS2 показало, что оба транскрибируемых спейсера обладают сходной информативностью применительно к оценке внутривидовых и межвидовых отличий *Phialocephala* spp. и *Pezicula* spp., тем самым указывая на равномерную скорость накопления микроэволюционных изменений в локусах со сходной структурно-функциональной организа-

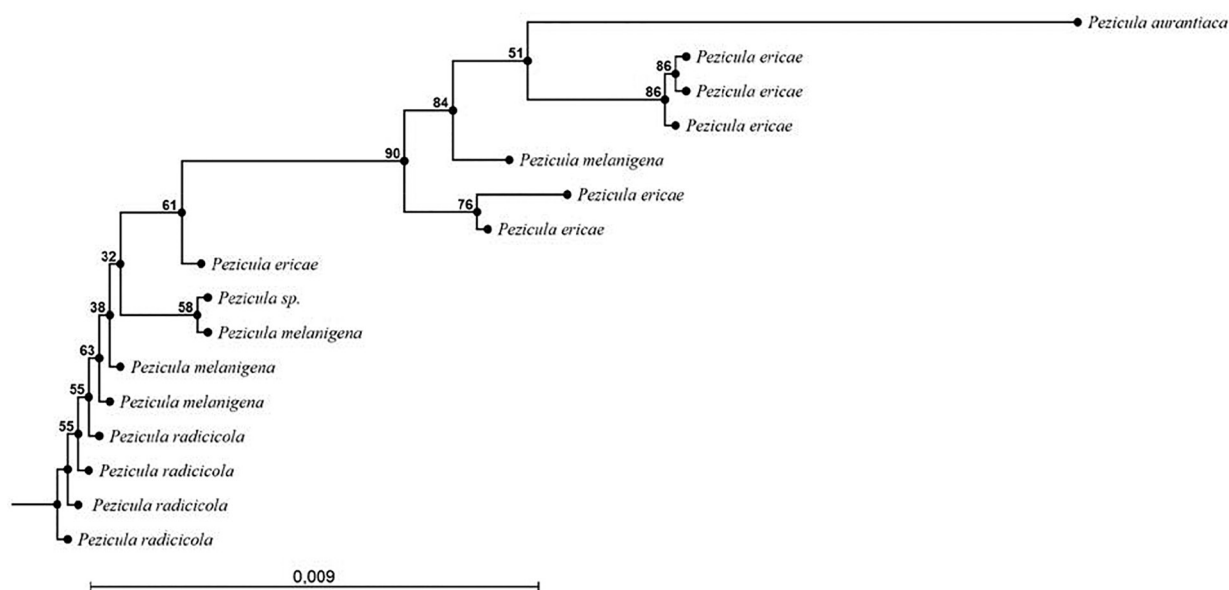


Рис. 4. Фрагмент дендрограммы, иллюстрирующей генетико-таксономические взаимоотношения между образцами *Pezicula* spp., представленными в GenBank NCBI (маркерные локусы – ITS1 и ITS2)

Fig. 4. Fragment of a dendrogram illustrating the genetic-taxonomic relationship between the accessions of *Pezicula* spp. presented in the GenBank NCBI (marker loci – ITS1 and ITS2)

цией. В то же время каждый из локусов (ITS1 и ITS2) характеризовался наличием специфических SNP, позволяющих в совокупности увеличивать разрешающую способность диагностики – выделять дополнительное количество генотипических вариантов, но не приводящих к существенному увеличению относительного уровня межвидовых различий.

Заключение. Метагеномный анализ грибных сообществ корневых окончаний голубики и черники позволил идентифицировать два доминирующих вида микромицетов – *Phialocephala fortinii* и *Pezicula* sp., представляющих собой грибы с высокой микоризообразовательной способностью. Для каждого из видов получены чистые культуры, проведены морфологический и генетико-таксономический анализ. Полученные штаммы представляют собой перспективные объекты для создания на их основе биопрепаратов для микоризации ягодных культур.

Список использованных источников

1. Камельчук, Я. С. Особенности выделения и культивирования *in vitro* эндомикоризных грибов из корней представителей семейства вересковых (*Ericaceae juss.*) / Я. С. Камельчук, Н. А. Ламан // Ботаника (исследования). – Минск, 2018. – Вып. 47. – С. 110–115.
2. Литвинов, М. А. Методы изучения почвенных микроскопических грибов / М. А. Литвинов. – Л., 1969. – 121 с.
3. Звягинцев, Д. Г. Методы почвенной микробиологии и биохимии / Д. Г. Звягинцев. – М., 1991. – 302 с.
4. Boyer, E. P. Endomycorrhizae of *Vaccinium corymbosum* L. in North Carolina / E. P. Boyer, G. R. Ballington, C. M. Hamland // Journal of American Society Horticultural Science. – 2012. – Vol. 107, N 5. – P. 751–754.
5. Peterson, R. L. Associations between microfungus endophytes and roots: do structural features indicate function? / R. L. Peterson, C. Wagg, M. Pautler // Botany. – 2008. – Vol. 86, N 5. – P. 445–456. <https://doi.org/10.1139/b08-016>
6. Dark septate endophytes (DSE) of the *Phialocephala fortinii* s. l. – *Acephala applanata* species complex in tree roots: classification, population biology, and ecology / R. Ch. Grünig [et al.] // Botany. – 2008. – Vol. 86, N 12. – P. 1355–1369. <https://doi.org/10.1139/b08-108>
7. Currah, R. S. Vegetative and reproductive morphology of *Phialocephala fortinii* (Hyphomycetes, Mycelium radicis atrovirens) in culture / R. S. Currah, A. Tsuneda // Transactions of the Mycological Society of Japan. – 1993. – Vol. 34, N 3. – P. 345–356.
8. Currah, R. S. Morphology and ecology of *Phialocephala fortinii* in roots of *Rhododendron brachycarpum* / R. S. Currah, A. Tsuneda, S. Murakami // Can. J. Bot. – 1993. – Vol. 71, N 12. – P. 1639–1644. <https://doi.org/10.1139/b93-199>
9. ITS1: a DNA barcode better than ITS2 in eukaryotes? / Xin-Cun Wang [et al.] // Molecular Ecology Resources. – 2014. – Vol. 15, N 3. – P. 573–586. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12325>
10. Basic local alignment search tool (BLAST NCBI) [Electronic resource]. – Mode of access: <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi>. – Date of access: 21.01.2020.
11. Redefining common endophytes and plant pathogens in *Neofabraea*, *Pezicula*, and related genera / C. Chen [et al.] // Fungal Biology. – 2015. – Vol. 120, N 11. – P. 1291–1322. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2015.09.013>

References

1. Kamel'chuk Ya. S., Laman N. A. Features of cultivation *in vitro* endomycorized mushrooms from the roots of the heather family (*Ericaceae juss.*) *Botanika (issledovaniya)* [Botany (research)]. Minsk, 2018, vol. 47, pp. 110–115 (in Russian).
2. Litvinov M. A. *Methods for studying soil microscopic fungi*. Leningrad, 2009. 121 p. (in Russian).
3. Zvyagintsev D. G. *Methods of soil microbiology and biochemistry*. Moscow, 1991. 302 p. (in Russian).
4. Boyer E. P., Ballington G. R., Hamland C. M. Endomycorrhizae of *Vaccinium corymbosum* L. in North Carolina. *Journal of American Society Horticultural Science*, 2012, vol. 107, no. 5, pp. 751–754.
5. Peterson R. L., Wagg C., Pautler M. Associations between microfungus endophytes and roots: do structural features indicate function? *Botany*, 2008, vol. 86, no. 5, pp. 445–456. <https://doi.org/10.1139/b08-016>
6. Grünig Ch. R., Queloz V., Sieber Th. N., Holdenrieder O. Dark septate endophytes (DSE) of the *Phialocephala fortinii* s. l. – *Acephala applanata* species complex in tree roots: classification, population biology, and ecology. *Botany*, 2008, vol. 86, no. 12, pp. 1355–1369. <https://doi.org/10.1139/b08-108>
7. Currah R. S., Tsuneda A. Vegetative and reproductive morphology of *Phialocephala fortinii* (Hyphomycetes, Mycelium radicis atrovirens) in culture. *Transactions of the Mycological Society of Japan*, 1993, vol. 34, no. 3, pp. 345–356.
8. Currah R. S., Tsuneda A. Morphology and ecology of *Phialocephala fortinii* in roots of *Rhododendron brachycarpum*. *Canadian Journal of Botany*, 1993, vol. 71, no. 12, pp. 1639–1644. <https://doi.org/10.1139/b93-199>
9. Wang X., Liu C., Huang L., Bengtsson-Palme J., Chen H., Zhang J., Cai D., Li J. ITS1: a DNA barcode better than ITS2 in eukaryotes? *Molecular Ecology Resources*, 2014, vol. 15, no. 3, pp. 573–586. <https://doi.org/10.1111/1755-0998.12325>
10. *Basic local alignment search tool (BLAST NCBI)*. Available at: <https://blast.ncbi.nlm.nih.gov/Blast.cgi> (accessed 21 January 2020).
11. Chen C., Verkley G. J. M., Sun G., Groenewald J. Z., Crous P. W. Redefining common endophytes and plant pathogens in *Neofabraea*, *Pezicula*, and related genera. *Fungal Biology*, 2015, vol. 120, no. 11, pp. 1291–1322. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2015.09.013>

Информация об авторах

Камельчук Янина Степановна – магистр биол. наук, аспирант. Полесский государственный университет (ул. Днепровской флотилии, 23, 225710, Пинск, Республика Беларусь). E-mail: yaninacamal@gmail.com.

Баранов Олег Юрьевич – д-р биол. наук, доцент, заведующий сектором. Институт леса НАН Беларуси (ул. Пролетарская, 71, 246050, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: betula-belarus@mail.ru.

Кирьянов Павел Сергеевич – мл. науч. сотрудник. Институт леса НАН Беларуси (ул. Пролетарская, 71, 246050, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: PKirjanov@yandex.ru.

Падутов Владимир Евгеньевич – член-корреспондент, д-р биол. наук, заведующий лабораторией. Институт леса НАН Беларуси (ул. Пролетарская, 71, 246050, Гомель, Республика Беларусь). E-mail: forestgen@mail.ru.

Information about the authors

Kamelchuk Yanina S. – Master of Sciences (Biology), Postgraduate student. Polesky State University (23, Dneprovskoy flotilii Str., 225710, Pinsk, Republic of Belarus). E-mail: yaninacamal@gmail.com.

Baranov Oleg Yu. – D. Sc. (Biology), Assistant professor, Head of the Department. Forest Research Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya Str., 246050, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: betula-belarus@mail.ru.

Kiryanov Pavel S. – Junior researcher. Forest Research Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya Str., 246050, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: PKirjanov@yandex.ru.

Padutov Vladimir E. – Corresponding Member, D. Sc. (Biology), Head of the Laboratory. Forest Research Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya Str., 246050, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: forestgen@mail.ru.