

УДК 579.64 + 631.8:633.318

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-403-02-91-98

А.П. Юрков¹ ✉А.А. Крюков¹Т.Р. Кудряшова¹А.И. Беляева¹С.Н. Никитин²

¹Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, Санкт-Петербург, Россия

²Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н.С. Немцева, Ульяновск, Россия

✉ ap.yurkov@arriam.ru

Поступила в редакцию: 12.11.2025

Одобрена после рецензирования: 28.12.2025

Принята к публикации: 25.01.2026

© Юрков А.П., Крюков А.А., Кудряшова Т.Р., Беляева А.И., Никитин С.Н.

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2026-403-02-91-98

Andrey P. Yurkov¹ ✉Alexey A. Kryukov¹Tatyana R. Kudryashova¹Angelina I. Belyaeva¹Sergey N. Nikitin²

¹All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, St. Petersburg, Russia

²Samara Science Center of the Russian Academy of Sciences, Ulyanovsk Agricultural Scientific Research Institute, Ulyanovsk, Russia

✉ ap.yurkov@arriam.ru

Received by the editorial office: 12.11.2025

Accepted in revised: 28.12.2025

Accepted for publication: 25.01.2026

© Yurkov A.P., Kryukov A.A., Kudryashova T.R., Belyaeva A.I., Nikitin S.N.

Оценка эффективности инокулянтов грибов арбускулярной микоризы и перспективы их применения в сельском хозяйстве

РЕЗЮМЕ

Работа посвящена анализу симбиотической эффективности и активности грибов арбускулярной микоризы (АМ), поддерживаемых в коллекции ФГБНУ ВНИИСХМ. Представлен сравнительный анализ симбиотической эффективности и активности 12 штаммов грибов АМ в модельной тест-системе на основе сильно отзывчивой на микоризацию линии MIS-1 люцерны хмелевидной в условиях дефицита доступного для питания растений фосфора в почве. Корреляционный анализ показал существенную положительную линейную взаимосвязь между симбиотической эффективностью штаммов и их активностью — встречаемостью микоризной инфекции (F) в корнях растения-хозяина. Между тем, интенсивность развития мицелия, обилие симбиотических структур (арбускул и везикул) в корне не имели достоверной корреляции с показателями АМ-эффективности, что может говорить об отсутствии родоспецифичности АМ-грибов к растению-хозяину. Эти данные подтверждают перспективы к применению эффективных штаммов грибов АМ на широком спектре агрокультур. Обсуждается возможность применения грибов АМ для повышения адаптации сельскохозяйственных растений к абиотическим стресс-факторам — засухе и засолению. С учетом неспецифичности взаимодействия с видами растений в результате исследования четыре эффективных и активных штамма грибов АМ рекомендованы для полевой апробации.

Ключевые слова: *Medicago lupulina*, симбиотическая эффективность, растительно-микробная система, гриб арбускулярной микоризы

Для цитирования: Юрков А.П., Крюков А.А., Кудряшова Т.Р., Беляева А.И., Никитин С.Н. Оценка эффективности инокулянтов грибов арбускулярной микоризы и перспективы их применения в сельском хозяйстве. *Аграрная наука*. 2026; 403(02): 91–98. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-403-02-91-98>

Evaluation of the efficiency of arbuscular mycorrhiza fungal inoculants and prospects for their use in agriculture

ABSTRACT

The work is devoted to the analysis of the symbiotic efficiency and activity of arbuscular mycorrhiza (AM) fungi maintained in ARRIAM collection. A comparative analysis of the symbiotic efficiency and activity for 12 strains of AM fungi in a model test system based on the black medic MIS-1 line highly responsive to mycorrhization in conditions of a deficiency of phosphorus available for plant nutrition in the soil is presented. Correlation analysis showed a significant positive linear relationship between the symbiotic efficiency of strains and their activity, the frequency of mycorrhizal infection (F) in the roots of the host plant. Meanwhile, the intensity of mycelium development and the abundance of symbiotic structures (arbuscules and vesicles) did not significantly correlate with AM efficiency indicators that may indicate the absence of genus-specificity of AM fungi to the host plant. These data confirm the prospects for use of effective strains of AM fungi in a wide range of agricultural crops. The possibility of using AM fungi to enhance the adaptation of plants in agriculture to abiotic stress factors such as drought and salinity is discussed. Taking into account the nonspecificity of interaction with plant species, as a result of the study, four effective and active strains of AM fungi are recommended for field testing.

Key words: *Medicago lupulina*, symbiotic efficiency, plant-microbial system, arbuscular mycorrhiza fungus

For citation: Yurkov A.P., Kryukov A.A., Kudryashova T.R., Belyaeva A.I., Nikitin S.N. Evaluation of the efficiency of arbuscular mycorrhiza fungal inoculants and prospects for their use in agriculture. *Agrarian science*. 2026; 403(02): 91–98 (in Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2026-403-02-91-98>

Введение/Introduction

Развитие современного биологического земледелия невозможно без создания эффективных растительно-микробных систем. Функционирование наземных экосистем в значительной степени зависит от мутуалистических симбиозов, среди которых доминирует арбускулярная микориза (АМ), формируемая 92% семейств растений с грибами *Glomeromycota* [1].

АМ широко распространена и обеспечивает не менее 20% объема круговорота веществ в наземных экосистемах [2]. Ее основные функции включают усиление минерального питания (в первую очередь фосфорного), модуляцию гормонального статуса, повышение устойчивости растений к абиотическим стрессам, таким как засуха и засоление [3–7].

Существенной проблемой является повсеместное нарушение формирования АМ как в естественных, так и в агроценозах в результате антропогенной деятельности. Таким образом, важным этапом развития почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия является внедрение биопрепаратов на основе инокулянтов грибов АМ в качестве усилителей роста растений [8, 9].

Для создания АМ-биопрепаратов организован ряд мировых коллекций грибов АМ (табл. 1), в том числе создается российская коллекция АМ-грибов, насчитывающая уже более 150 изолятов, выделенных из разных регионов РФ.

Анализ эффективности инокуляции грибами АМ возможен с применением разработанного способа экспресс-тестирования эффективности АМ-инокулянтов на модельной сильноотзывчивой на микоризацию в условиях низкого уровня доступного фосфора линии MIS-1 люцерны хмелевидной (*Medicago lupulina* L.; патент РФ от 22.07.2022 № 2776652¹).

Цель данной работы — сравнительная оценка симбиотической эффективности и активности штаммов грибов арбускулярной микоризы из коллекции ВНИИСХМ в условиях дефицита фосфорного питания в модельной системе с люцерной хмелевидной (*Medicago lupulina*) для выявления наиболее перспективных штаммов-кандидатов для создания микробных инокулянтов.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

Растительный и грибной материал. В исследовании использована модельная линия MIS-1 люцерны хмелевидной (*Medicago lupulina* L. var. *vulgaris* Koch, однолетник) с высоким откликом на микоризацию — высокую симбиотическую эффективность [10].

Для оценки симбиотической эффективности в 2024 г. взяты 12 штаммов грибов из Российской коллекции грибов арбускулярной микоризы ФГБНУ ВНИИСХМ (коллекция поддерживается А.П. Юрковым), пополненной в результате

Таблица 1. Число изолятов и видов в коллекциях грибов АМ

Table 1. Number of isolates and species in the collections of AM fungi

Коллекция грибов АМ	Страна	Число изолятов	Число видов
Международный банк <i>Glomeromycota</i> (The International Bank for the <i>Glomeromycota</i> , BEG) ²	Франция	23	20
Бельгийская коллекция (<i>Glomeromycota</i> in vitro Collection BCCM™/MUCL, GINCO-Bel ³)	Бельгия	11	5
Канадская коллекция (<i>Glomeromycota</i> In vitro Collection, GINCO-Can) ⁴	Канада	16	6
Швейцарская коллекция грибов АМ (Swiss Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi, SAF) ⁵	Швейцария	>200	26
Индийский центр коллекции микоризных культур (Centre for Mycorrhizal Culture Collection, CMCC) ⁶	Индия	50	17
Американская коллекция (International Culture Collection of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi, INVAM) ⁷	США	900	78
Бразильская международная коллекция культур (The International Culture Collection of <i>Glomeromycota</i> , CICG) ⁸	Бразилия	22	22
Российская коллекция грибов арбускулярной микоризы ФГБНУ ВНИИСХМ	Россия	> 150	> 15

¹ Юрков А.П. Патент RU 2776652. Способ оценки качества биопрепаратов на основе грибов арбускулярной микоризы. Опубликовано 22.07.2022.

² Culture Database. D. Redecker (digital resource published online: 04 Jan 2023; accessed 01 Nov 2025). URL: <http://www.i-beg.eu>

³ *Glomeromycota* in vitro collection: mycorrhiza strains. Z. Benyahia (digital resource published online: 17 Jun 2025; accessed 01 Nov 2025). URL: <https://bccm.belspo.be/MUCL-catalogue-search>

⁴ Catalogue of Arbuscular Mycorrhizal fungi strains available in the *Glomeromycetes* in vitro Collection. F. Stefani (digital resource published online: 28 Mar 2025; accessed 01 Nov 2025).

URL: <https://agriculture.canada.ca/en/science/agriculture-and-agri-food-research-centres/canadian-collection-arbuscular-mycorrhizal-fungi-ccamf/catalogue-arbuscular-mycorrhizal-fungi-strains-available-glomeromycetes-vitro-collection>

⁵ SAF list of isolates. M. van der Heijden (digital resource published online: 28 Oct 2025; accessed 01 Nov 2025).

URL: <https://www.agroscope.admin.ch/agroscope/en/home/topics/environment-resources/soil-bodies-water-nutrients/plant-soil-interactions/mycorrhizal-ecology/swiss-collection-of-arbuscular-mycorrhizal-fungi/saf-list-of-isolates.html>

⁶ Centre for Mycorrhizal Culture Collection. D. Kumar (digital resource published online: 10 Jan 2025; accessed 01 Nov 2025).

URL: <http://mycorrhizae.org.in/cmcc/isolates.php>

⁷ Species Descriptions. J. Bever (digital resource published online: 29 Oct 2025; accessed 01 Nov 2025).

URL: <https://invam.ku.edu/species-descriptions>

⁸ Reference Cultures in CICG. S.L. Stürmer (digital resource published online: 04 Apr 2025; accessed 01 Nov 2025).

URL: <https://sites.google.com/view/cicg-furb-english/amf-cultures/reference-cultures>

экспедиций на территории Северо-Западного региона России, Северного Кавказа и Горного Алтая, проведенных в рамках ряда проектов под руководством А.П. Юркова: РФФИ-офи_м № 15-29-02753 (2015–2018 гг.); РФФИ-мк № 19-29-05275 (2019–2021 гг.); РНФ № 22-16-00064 (2022–2024 гг.).

Грибы АМ, как правило, являются неспецифическими симбионтами растений, образуя симбиоз с широким кругом растений-хозяев, в том числе с десятками сельскохозяйственных культур (за исключением некоторых видов крестоцветных, осоковых, маревых, ситниковых, гвоздичных, гречишных, а также люпина у бобовых). Неспецифическая к видам растений эффективность грибов АМ показана в ряде экспериментов, проведенных в географической сети опытов ФГБНУ ВНИИСХМ [11, 12].

По критериям воспроизводимости результатов инокуляции (стабильного отклика на микоризацию у растения-хозяина), а также по стабильному формированию внутрикорневых спор и везикул в корнях накопительной культуры были отобраны следующие штаммы грибов АМ: № 3.3 *Funneliformis* sp., № 5 *Rhizophagus* sp., № 6 *Claroideoglomus* sp., № 8 *Sclerocystis* sp., № 11 *Rhizophagus* sp., № 16 *Glomus* sp., № 28 *Paraglomus* sp., № 36 *Rhizophagus* sp., № 37 *Rhizophagus* sp., № 38 *Acaulospora* sp., № 76.4 *Nanoglomus* sp., RCAM00320 *Rhizophagus irregularis*. Поскольку грибы АМ являются облигатными симбионтами растений, то их культивирование проводится на плектрантусе южном (*Plectranthus australis* R.Br. = *P. verticillatus* (L.f.) Druce).

Инокулянты грибов АМ готовили в соответствии с опубликованной ранее работой [10]. Инокулянт содержал корни плектрантуса в среднем со 100 везикулами АМ-гриба на один проросток *M. lupulina*. Морфологическую идентификацию грибов АМ до уровня рода провели с помощью световой микроскопии. Для анализа использовали споры и спорокарпы, которые предварительно помещали в поливиниллактоглицерин (PVLG), реактив Мельцера. По каждому образцу изучили 120 спор с оценкой их цвета, размера, формы, структуры оболочек, а также характеристики несущей гифы и внекорневого мицелия. Идентификацию выполняли с использованием специализированных определителей⁹ и баз данных онлайн^{10–12}.

Схема эксперимента и условия выращивания растений. Разработанный микровегетационный метод обеспечивает оптимальные условия

для развития АМ и позволяет избежать спонтанного инфицирования ризобиями и другими симбиотическими микроорганизмами: световой бокс предварительно стерилизовали УФ; субстрат (почво-песчаную смесь) и инструменты стерилизовали автоклавированием; семена скарифицировали; воду для полива кипятили. Способ оценки качества АМ-инокулянтов защищен патентом¹³.

Субстрат для культивирования, представляющий собой смесь высушенной на воздухе почвы и песка в соотношении 2:1 по весу, дважды автоклавировали (при 134 °С в течение часа, интервал между обработками — 2 суток), чтобы достичь стерильности без признаков токсичности. Семена люцерны подвергали скарификации в концентрированном растворе H₂SO₄ в течение 5 минут. Семена стратифицировали при температуре +5 °С в течение суток и затем проращивали при температуре +27 °С в течение двух суток в темноте. На один сосуд, заполненный субстратом (210 г), высевали два проростка одинакового размера.

Агрохимическая характеристика почвы: дерново-подзолистая суглинистая с низким содержанием фосфора — 1,7 мг на 100 г, калий — 6,5 мг на 100 г. Содержание органических веществ — 3,6%; рН_{KCl} — 6,4 (после известкования), рН_{H₂O} — 7,3 [10].

Растения опытной группы при посадке инокулировали штаммами АМ-грибов, контрольной — фрагментами корней плектрантуса без гриба. Растения выращивали в условиях 18/6 ч смены дня и ночи при температуре 24–26 °С, относительной влажности воздуха 58–63%, фотосинтетически активной радиации 150 мкмоль/м²/с.

Полив осуществляли из расчета 0,6 ч. от общей влагоемкости субстрата. Учет продуктивности и микроскопический анализ растений проводили на 48-й день от посадки в фазу цветения (биологическая повторность — 10 растений на каждый вариант).

Определяли сырую массу надземных частей, число листьев и цветоносов, а также массу сухого вещества в надземных частях (ГОСТ 31640-2012¹⁴). Симбиотическая эффективность АМ рассчитана стандартно по формуле Ю. Одума:

$$E = ([+AM] - [-AM]) / [-AM] \cdot 100\%, \quad (1)$$

где [+AM] и [-AM] — значения параметра продуктивности для микоризованных и немикоризованных растений соответственно.

⁹ Schenk N.C., Perez Y. Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi. 3rd Edn. Gainesville, FL: Synergistic Publications. 1990; 286. ISBN: 9780962598036

¹⁰ AMF Species List. S.L. Stürmer (digital resource published online: 04 Apr 2025; accessed 01 Nov 2025).

URL: <https://sites.google.com/view/cicg-furb-english/taxonomy/amf-species-list>

¹¹ Species Descriptions. J. Bever (digital resource published online: 29 Oct 2025; accessed 01 Nov 2025).

URL: <https://invam.ku.edu/species-descriptions>

¹² Species descriptions and illustrations. J. Blaszkowski (digital resource published online: 30 Mar 2023; accessed 01 Nov 2025).

URL: <https://zor.zut.edu.pl/Glomeromycota/Species%20descriptions%20of%20AMF.html>

¹³ Юрков А.П. Патент RU 2776652. Способ оценки качества биопрепаратов на основе грибов арбускулярной микоризы. Опубликовано 22.07.2022.

¹⁴ ГОСТ 31640-2012 Межгосударственный стандарт. Корма. Методы определения содержания сухого вещества. М.: Стандартинформ. 2013; 14.

Оценка показателей микоризации. Для анализа АМ-структур были взяты образцы измельченных корней *M. lupulina*, окрашенные трипановым синим [13], мацерированные (осветленные) и нарезанные на сегменты длиной 1 см с применением стереомикроскопа Stemi 2000 (Carl Zeiss, Германия). Последующий микроскопический анализ для количественной оценки АМ [14] проведен с использованием микроскопа CX43 (Olympus, Япония), оснащенного 10-кратным широкоугольным окуляром и 10-кратным объективом Plan Achromat PLCN10X-1-7. В давленных окрашенных корнях с применением разработанной компьютерной программы¹⁵ проведена оценка индексов микоризации: встречаемость микоризной инфекции (F , %), интенсивность микоризации в микоризованных частях корней (m , %), обилие арбускул и везикул в микоризованных частях корней (a и b соответственно).

Статистический анализ. Для оценки статистической значимости различий в параметрах продуктивности, симбиотической эффективности и показателях микоризации использовали дисперсионный анализ (ANOVA) и апостериорный (post hoc) HSD-тест Тьюки. Анализ данных проведен в ПО Statistica v.12.0 (StatSoft, США).

Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез в данном исследовании принимали $p < 0,05$ при сравнении средних значений и $p < 0,01$ при оценке достоверности линейных коэффициентов корреляции (r).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Проведена постановка вегетационного эксперимента на стерильном субстрате с целью отбора наиболее эффективного штамма гриба АМ из коллекции ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии». Для сравнения были взяты следующие штаммы: № 3.3 *Funneliformis* sp., № 5 *Rhizophagus* sp., № 6 *Claroideoglomus* sp., № 8 *Sclerocystis* sp., № 11 *Rhizophagus* sp., № 16 *Glomus* sp., № 28 *Paraglomus* sp., № 36 *Rhizophagus* sp., № 37 *Rhizophagus* sp., № 38 *Acaulospora* sp., № 76.4 *Nanoglomus* sp., RCAM00320 *Rhizophagus irregularis*.

Показатели продуктивности растения-хозяина (люцерны хмелевидной) и симбиотической эффективности с грибами АМ были оценены на 48-е сутки от посадки в фазу цветения по сырой массе

Таблица 2. Показатели продуктивности люцерны, инокулированной различными грибами АМ

Table 2. Productivity indicators of black medic inoculated with various AM fungi

Штамм	Масса НЧ* одного растения, мг на натуральную влажность	Масса сухого вещества НЧ одного растения, мг	Число листьев**	Число цветоносов
Без М (контроль)	307,3 ^a ± 22,0	40,8 ^a ± 4,0	8,3 ^a ± 0,4	2,0 ^c ± 0,1
№ 38	298,5 ^a ± 21,7	41,7 ^a ± 4,4	8,0 ^a ± 0,4	1,2 ^b ± 0,2
№ 36	461,3 ^b ± 29,2	64,6 ^b ± 7,6	7,2 ^a ± 0,3	0,3 ^a ± 0,1
№ 8	478,0 ^b ± 27,4	72,2 ^b ± 6,1	7,4 ^a ± 0,4	2,0 ^c ± 0,2
№ 6	483,3 ^b ± 25,8	68,8 ^b ± 4,5	7,8 ^a ± 0,4	1,0 ^b ± 0,1
№ 3.3	487,9 ^b ± 23,8	69,5 ^b ± 5,2	8,5 ^a ± 0,5	3,1 ^d ± 0,3
№ 11	501,4 ^b ± 30,4	85,0 ^c ± 7,0	9,3 ^b ± 0,5	3,5 ^d ± 0,3
№ 16	646,4 ^c ± 28,7	110,1 ^d ± 6,6	9,5 ^b ± 0,5	2,2 ^c ± 0,2
№ 5	651,3 ^c ± 27,2	112,0 ^d ± 6,8	9,5 ^b ± 0,4	0,7 ^d ± 0,1
№ 76.4	755,2 ^d ± 38,5	128,5 ^d ± 11,3	9,8 ^b ± 0,3	3,8 ^e ± 0,4
№ 28	803,6 ^d ± 35,3	134,7 ^d ± 11,2	8,7 ^a ± 0,4	0,4 ^a ± 0,1
№ 37	818,4 ^d ± 38,7	129,4 ^d ± 7,8	9,3 ^b ± 0,5	0,5 ^a ± 0,2
RCAM00320	845,5 ^e ± 38,3	135,1 ^e ± 9,3	9,6 ^b ± 0,4	6,3 ^e ± 0,7

Примечание: НЧ* — надземных частей; число листьев* — число листьев на главном стебле; без М — вариант без инокуляции грибом АМ. ^{a, b, c, d, e} — разные буквы указывают на достоверные ($p < 0,05$) различия средних значений по вариантам для каждого отдельного показателя продуктивности (ANOVA, критерий Тьюки). Штаммы ранжированы по возрастанию ключевого параметра — сырого веса надземных частей, равно как и симбиотической эффективности АМ по этому параметру.

и массе сухого вещества в надземных частях, числу листьев и цветоносов (табл. 2, 3), показатели микоризации — по встречаемости АМ-инфекции (F , %), интенсивности микоризации в микоризованной части корня (m , %), обилию арбускул и везикул в микоризованной части корня (a и b , %) (табл. 3).

Следует отметить, что имели место различия в содержании воды в надземных частях растений люцерны, инокулированных разными штаммами грибов АМ, которое варьировало от 82,8 до 86,7%, что можно рассчитать, исходя из представленных значений сухого и сырого веса (табл. 2).

Наибольшая продуктивность растений и симбиотическая эффективность были показаны в симбиозе для штаммов № 28, 37, RCAM0032 (табл. 2, 3) при высокой их активности в корнях (табл. 4, 5), два из них относятся к роду *Rhizophagus* — штамм № 37 и RCAM00320. Чуть меньшая эффективность показана для грибов АМ из родов *Nanoglomus* и *Paraglomus* (табл. 5). Наиболее выраженная эффективность наблюдалась при расчете по весу надземных частей (табл. 3).

Симбиотическая эффективность, рассчитанная по массе при натуральной влажности и массе сухого вещества в надземных частях, наблюдалась достоверно выше при инокуляции штаммом RCAM00320 гриба *R. irregularis* против контрольной группы растений без инокуляции АМ-грибом. Число цветоносов достоверно выше при инокуляции штаммом RCAM00320 против контрольной группы растений без инокуляции АМ-грибом, при

¹⁵ Воробьев Н.И., Юрков А.П., Проворов Н.А. Свидетельство от 12.02.2016 № 2016612112 о регистрации программы ЭВМ «Программа вычисления индексов микоризации корней растений». М.: ФИПС. 2016.

этом число листьев на главном стебле значимо не отличалось от контроля, но было высоким (табл. 2).

Следует отметить, что результаты с низкой эффективностью штаммов № 8, 3.3, 11, 6 не исключают их высокой эффективности при среднем или высоком уровне фосфора, доступного для питания растений в почве.

В результате оценки микоризации корней было показано, что встречаемость АМ-инфекции и интенсивность АМ при инокуляции штаммом RCAM00320 не имели достоверной разницы в сравнении с инокуляцией штаммами № 28, 37, но были чуть выше (табл. 4). Для других штаммов эти параметры были, как правило, значительно ниже. Указанные три штамма имели более высокие показатели *m*, *a* и *b*.

Результаты корреляционного анализа параметров симбиотической эффективности АМ и активности грибов в корнях растения-хозяина показали, что среди индексов микоризации встречаемость микоризной инфекции (*F*) имела достоверную ($p < 0,01$) корреляцию с эффективностью, рассчитанной как при натуральной влажности, так и по сухому веществу НЧ ($r = 0,82$ и $0,79$ соответственно). Показатели *m*, *a* и *b* не имели достоверных корреляций с параметрами продуктивности. Корреляция между рангом рода гриба АМ и показателями его эффективности и активности отсутствует, что свидетельствует об отсутствии специфичности грибов АМ разных родов к растению-хозяину. При этом по литературным данным известно (с учетом изменений в таксономии¹⁶): 1) *Acaulospora* sp. обладают, как правило, невысокой АМ-эффективностью на растениях *Tamarindus indica*, *Parkia biglobosa*, *Zizyphus mauritiana* [15]; 2) *Rhizophagus* sp. обладают высокой эффективностью на множестве видов растений, включая *Allium cepa*, *Capsicum annuum*, *Cassia siamea*, *Cucumis sativus*, *Glycine max*, *Helianthus annuus*, *Lactuca sativa*, *Lycopersicon esculentum*, *Malus domestica*, *Medicago lupulina*, *M. nolana*, *M. rigidula*, *M. rotata*, *Retama sphaerocarpa*, *Triticum aestivum*, *Trifolium subterraneum*, *Solanum lycopersicum*, *Sorghum bicolor*, *Vigna radiata*, *Vitis vinifera*, *Zea mays*, etc. [5, 9, 11, 12, 15–17]; 3) *Funneliformis* sp. могут быть эффективными на *Cucumis sativus*, *Lactuca sativa*, *Lycopersicon esculentum*, *Helianthus annuus*, *Ipomoea aquatica*, *Solanum lycopersicum*, *Triticum aestivum*, *Vigna radiata*, *Zea mays* [5, 16];

Таблица 3. Показатели симбиотической эффективности люцерны, инокулированной различными грибами АМ

Table 3. Indicators of the symbiotic efficiency of black medic inoculated with various AM fungi

Штамм	Симбиотическая эффективность (%), рассчитанная по:			
	массе НЧ* одного растения, мг на натуральную влажность	массе сухого вещества НЧ одного растения, мг	числу листьев**	числу цветоносов
№ 38	-2,9 ± 0,3	2,2 ± 0,3	-3,7 ± 0,3	-43,0 ± 1,7
№ 36	50,1 ¹ ± 4,8	58,3 ¹ ± 8,9	-12,7 ± 0,9	-83,3 ± 13,4
№ 8	56,2 ¹ ± 5,1	77,0 ¹ ± 9,9	-10,2 ± 0,7	0,6 ± 0,1
№ 6	57,3 ¹ ± 5,1	68,6 ¹ ± 8,0	-5,1 ± 0,4	-48,5 ± 4,2
№ 3.3	58,8 ¹ ± 5,1	70,3 ¹ ± 8,6	2,8 ± 0,2	52,8 ¹ ± 4,6
№ 11	63,1 ¹ ± 5,9	108,3 ¹ ± 13,8	12,7 ¹ ± 0,9	74,9 ¹ ± 5,8
№ 16	110,3 ¹ ± 9,3	169,9 ¹ ± 19,4	15,5 ¹ ± 1,1	9,2 ± 0,8
№ 5	111,9 ¹ ± 9,3	174,5 ¹ ± 20,0	15,2 ¹ ± 0,9	-64,7 ± 12,3
№ 76.4	145,7 ¹ ± 12,8	215,0 ¹ ± 28,1	18,4 ¹ ± 1,1	87,2 ¹ ± 9,2
№ 28	161,5 ¹ ± 13,6	230,1 ¹ ± 29,4	5,2 ± 0,3	-80,0 ± 9,3
№ 37	166,3 ¹ ± 14,3	217,2 ¹ ± 24,8	12,7 ¹ ± 0,9	-74,8 ± 31,7
RCAM00320	175,1 ¹ ± 14,8	231,1 ¹ ± 27,5	16,3 ¹ ± 1,0	210,6 ¹ ± 23,9

Примечание: НЧ* — надземных частей; число листьев* — число листьев на главном стебле; 50,1¹ — наличие достоверной ($p < 0,05$) эффективности по показателю продуктивности.

Таблица 4. Показатели микоризации люцерны, инокулированной различными грибами АМ

Table 4. Indicators of mycorrhization of black medic inoculated with various AM fungi

Штамм	Встречаемость АМ-инфекции (<i>F</i>), %	Интенсивность АМ (<i>m</i>), %	Обилие арбускул (<i>a</i>), %	Обилие везикул (<i>b</i>), %
№ 38	15,2 ^b ± 1,0	22,6 ^{b,c} ± 2,6	54,2 ^a ± 5,4	26,6 ^c ± 6,0
№ 36	16,9 ^b ± 1,3	27,8 ^c ± 3,3	89,0 ^c ± 11,2	37,6 ^c ± 8,7
№ 8	11,4 ^a ± 1,1	10,9 ^a ± 1,3	77,8 ^{b,c} ± 8,3	31,9 ^c ± 7,2
№ 6	69,2 ^e ± 6,5	21,9 ^{b,c} ± 2,3	77,3 ^{b,c} ± 8,6	6,0 ^{ab} ± 1,2
№ 3.3	14,2 ^{a,b} ± 1,1	14,7 ^a ± 1,6	76,1 ^{b,c} ± 6,7	40,5 ^c ± 8,1
№ 11	12,7 ^{a,b} ± 2,2	13,6 ^a ± 1,8	55,8 ^a ± 5,7	36,5 ^c ± 9,0
№ 16	39,2 ^c ± 2,3	18,1 ^{a,b} ± 2,2	70,0 ^b ± 4,6	4,4 ^a ± 1,9
№ 5	72,6 ^e ± 4,3	36,9 ^{d,e} ± 6,0	79,1 ^{b,c} ± 5,4	9,1 ^b ± 2,2
№ 76.4	52,6 ^d ± 5,1	11,6 ^a ± 2,4	48,4 ^a ± 4,9	5,3 ^a ± 1,2
№ 28	91,3 ^f ± 4,4	46,3 ^{e,f} ± 6,3	81,9 ^c ± 3,1	38,8 ^c ± 9,7
№ 37	89,8 ^f ± 5,9	55,4 ^f ± 10,2	86,6 ^c ± 8,1	35,8 ^c ± 7,3
RCAM00320	98,1 ^f ± 7,6	31,9 ^d ± 5,2	71,9 ^{b,c} ± 8,3	43,5 ^c ± 9,9

Примечание: а, b, c, d, e, f — разные буквы над цифрами означают достоверные ($p < 0,05$) различия между средними значениями каждого отдельного показателя микоризации (ANOVA, критерий Тьюки).

4) *Entrophospora* sp. обладают значимой эффективностью на некоторых видах растений, включая *Lactuca sativa*, *Lycopersicon esculentum*, *Glycine max*, *Solanum lycopersicum*, *Vigna unguiculata*, *Zea mays* [5, 9, 15, 16]; 5) *Glomus* sp. обладают, как правило, высокой или значимой эффективностью на множестве видов растений, включая *Capsicum annuum*, *Cassia siamea*, *Cucumis sativus*, *Ipomoea aquatica*, *Liriodendron tulipifera*, *Trifolium subterraneum* [5, 15, 16]; 6) *Paraglomus* sp. обладает высокой эффективностью на *Capsicum annuum* [16]; 7) данные по эффективности АМ для грибов родов *Sclerocystis* и *Nanoglomus* в литературе отсутствуют.

¹⁶ AMF Species List. S.L. Stürmer (digital resource published online: 04 Apr 2025; accessed 01 Nov 2025). URL: <https://sites.google.com/view/cicg-furb-english/taxonomy/amf-species-list>

Таким образом, полученные результаты в настоящем исследовании в целом согласуются с литературными данными, и результаты исследования, подтверждающие отсутствие родоспецифичности грибов АМ во взаимодействии с растением-хозяином, указывают на существенный потенциал использования эффективных штаммов АМ-грибов в выращивании широкого круга сельскохозяйственных культур.

Для выявления наиболее эффективного гриба АМ результаты сведены в таблицу 5 с обобщением характеристик и параметров, полученных в эксперименте. Можно заметить, что в исследовании были представлены пять штаммов рода *Rhizopagus*, но только три из них показали высокую эффективность. Это показывает, что грибы одного рода могут иметь значительную разницу в симбиотической эффективности. На основании оценки эффективности и активности на 48-е сутки от посадки и инокуляции при тестировании в условиях дефицита фосфорного питания с применением высокоотзывчивой на микоризацию линии MIS-1 *Medicago lupulina* штамм RCAM00320 гриба *Rhizopagus irregularis* (табл. 5) можно считать наиболее эффективным для проведения исследований влияния микоризации на адаптацию к низкому уровню фосфора, доступного для питания растений в почве. Следует отметить, что данный штамм уже показал высокую эффективность на ряде кормовых трав и древесных культур в полевых условиях [11, 12, 17, 18].

Штамм RCAM00320 гриба *R. irregularis* может быть применим в условиях действия иных стресс-факторов среды абиотической природы (помимо условий дефицита фосфора) — например, таких, как засуха. Об этом свидетельствуют и первые данные, полученные авторами в модельной растительно-микробной системе (PMC) *M. lupulina* + *R. irregularis* [19]. Повышение устойчивости растений к дефициту влаги в почве показано во многих PMC, таких как *Glycine max* + *R. irregularis*, *Solanum lycopersicum* + *R. irregularis*, *Triticum aestivum* + *Glomus spp.*, *Zea mays* + *R. irregularis*, *Sorghum bicolor* + *R. irregularis*, *Vigna radiata* + *F. mosseae* или *R. irregularis*, etc. [3, 5, 6] (с учетом изменений в таксономии¹⁷).

Среди абиотических факторов, помимо дефицита питательных веществ и воды, действие которых нивелирует микоризация, известны такие, как уплотнение почвы (в PMC *Zea mays* + *Glomus spp.*), высокое содержание тяжелых металлов (в PMC *Z. mays* + *Glomus spp.*, *Z. mays* + *Acaulospora laevis* или *F. mosseae*, *Helianthus annuus* + *F. mosseae* и *R. irregularis*, засоление (в PMC *Solanum*

Таблица 5. Общая характеристика инокулянтов по результатам тестирования на люцерне эффективности и активности грибов АМ

Table 5. General characteristics of inoculums based on black medic testing for efficiency and activity AM fungi

Штамм	Предполагаемый род гриба АМ*	Ускорение цветения люцерны	Эффективность гриба АМ	Активность гриба АМ
№ 38	<i>Acaulospora sp.</i>	нет	нет	низкая
№ 36	<i>Rhizopagus sp.</i>	нет	нет	низкая
№ 8	<i>Sclerocystis sp.</i>	нет	низкая	низкая
№ 6	<i>Entrophospora sp.</i>	нет	низкая	средняя
№ 3.3	<i>Funneliformis sp.</i>	нет	низкая	низкая
№ 11	<i>Rhizopagus sp.</i>	есть	низкая	низкая
№ 16	<i>Glomus sp.</i>	нет	средняя	низкая
№ 5	<i>Rhizopagus sp.</i>	нет	средняя	средняя
№ 76.4	<i>Nanoglomus sp.</i>	есть	высокая	средняя
№ 28	<i>Paraglomus sp.</i>	нет	высокая	высокая
№ 37	<i>Rhizopagus sp.</i>	нет	высокая	высокая
RCAM00320	<i>R. irregularis</i> **	есть	высокая	высокая

Примечание: предполагаемый род гриба АМ* — по морфологии спор; *R. irregularis*** — идентифицирован коллективом как *Rhizopagus irregularis* (Błaszk., Wubet, Renker & Buscot) C. Walker & A. Schüßler (ранее известный как CIAM8 *Glomus intraradices* Shenck&Smith).

lycopersicum + *F. mosseae*, *Z. mays* + *F. mosseae*, *Triticum aestivum* + *Glomus spp.*, *Glycine max* + *Entrophospora etunicata*) [5].

Таким образом, инокулянты на основе грибов АМ действительно могут занять важное место в совершенствовании техники почвозащитного и ресурсосберегающего земледелия с целью усиления роста культурных растений и их адаптации к стресс-факторам [8, 9].

Выводы/Conclusions

Корреляционный анализ выявил отсутствие родоспецифичности грибов АМ в отношении формирования их симбиотической эффективности и активности. Тем не менее грибы с высокой эффективностью обладали, как правило, высокой встречаемостью микоризной инфекции (*F*) в корнях растения-хозяина.

По результатам оценки симбиотической эффективности и активности штаммов грибов АМ в условиях дефицита фосфора в почве можно рекомендовать штаммы № 28, 76.4, 37, RCAM00320 к полевой апробации как наиболее эффективные. Наряду с ними штаммы № 16, 5, обладающие средней эффективностью, заслуживают проверки эффективности на почвах с более высоким уровнем Рд, характерным для агроэкосистем, чтобы оценить устойчивость по параметрам их активности и эффективности к внесению удобрений.

Учитывая неспецифичность взаимодействия с видами растений в агроэкосистемах, перечисленные штаммы грибов АМ могут быть испытаны в качестве действующего начала в инокулянтах для повышения адаптации широкого спектра агрокультур к условиям засухи и другим абиотическим стресс-факторам среды.

¹⁷ AMF Species List. S.L. Stürmer (digital resource published online: 04 Apr 2025; accessed 01 Nov 2025). URL: <https://sites.google.com/view/cicg-furb-english/taxonomy/amf-species-list>

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского научного фонда № 24-26-00181.

FUNDING

This research was funded by Russian Science Foundation No. 24-26-00181.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Hyde K.D. *et al.* The 2024 Outline of *Fungi* and fungus-like taxa. *Mycosphere*. 2024; 15(1): 5146–6239. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/15/1/25>
- Smith S.E., Read D.J. *Mycorrhizal symbiosis*. 3rd ed. New York: Academic Press. 2008; 787. ISBN 978-0-12-370526-6 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370526-6.X5001-6>
- Augé R.M. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*. 2001; 11(1): 3–42. <https://doi.org/10.1007/s005720100097>
- Evelin H., Kapoor R., Giri B. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. *Annals of Botany*. 2009; 104(7): 1263–1280. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp251>
- Nadeem S.M., Ahmad M., Zahir Z.A., Javaid A., Ashraf M. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology Advances*. 2014; 32(2): 429–448. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.12.005>
- Tang H. *et al.* The Critical Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi to Improve Drought Tolerance and Nitrogen Use Efficiency in Crops. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13: 919166. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.919166>
- Boorboori M.R., Lackóová L. Arbuscular mycorrhizal fungi and salinity stress mitigation in plants. *Frontiers in Plant Science*. 2025; 15: 1504970. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1504970>
- Wu S., Shi Z., Chen X., Gao J., Wang X. Arbuscular mycorrhizal fungi increase crop yields by improving biomass under rainfed condition: a meta-analysis. *PeerJ*. 2022; 10: e12861. <https://doi.org/10.7717/peerj.12861>
- Umer M. *et al.* Roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth and disease management for sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*. 2025; 16: 1616273. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1616273>
- Yurkov A.P. *et al.* The Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungus and Phosphorus Treatment on Root Metabolome of *Medicago lupulina* During Key Stages of Development. *Plants*. 2025; 14(17): 2685. <https://doi.org/10.3390/plants14172685>
- Юрков А.П., Лактионов Ю.В., Кожемяков А.П., Степанова Г.В. Анализ симбиотической эффективности бактериальных и грибных препаратов на кормовых культурах по данным урожайности семян. *Кормопроизводство*. 2017; (3): 16–21. <https://www.elibrary.ru/ygunsx>
- Юрков А.П., Кожемяков А.П., Степанова Г.В. Эффективность некоторых микробных биопрепаратов на основе бактерий и грибов арбускулярной микоризы. *Многофункциональное адаптивное кормопроизводство. Сборник научных трудов*. Москва. 2018; 19: 20–28. <https://www.elibrary.ru/yvotr>
- Phillips J.M., Hayman D.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*. 1970; 55(1): 158–161, IN16–IN18. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)
- Trouvelot A., Kough J.L., Gianinazzi-Pearson V. Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes ayant une signification fonctionnelle. Gianinazzi-Pearson V., Gianinazzi S. (eds.). *Les Mycorhizes: physiologie et génétique*. Paris: INRA-Press. 1986; 217–221.
- Tawaray K. Arbuscular mycorrhizal dependency of different plant species and cultivars. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2003; 49(5): 655–668. <https://doi.org/10.1080/00380768.2003.10410323>
- Baum C., El-Tohamy W., Gruda N. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: A review. *Scientia Horticulturae*. 2015; 187: 131–141. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.002>
- Ефимова И.Л., Юрков А.П. Новые приемы агроэкологии для повышения качества посадочного материала яблони. *Труды Кубанского государственного аграрного университета*. 2015; 55: 73–77. <https://www.elibrary.ru/uzehij>

REFERENCES

- Hyde K.D. *et al.* The 2024 Outline of *Fungi* and fungus-like taxa. *Mycosphere*. 2024; 15(1): 5146–6239. <https://doi.org/10.5943/mycosphere/15/1/25>
- Smith S.E., Read D.J. *Mycorrhizal symbiosis*. 3rd ed. New York: Academic Press. 2008; 787. ISBN 978-0-12-370526-6 <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370526-6.X5001-6>
- Augé R.M. Water relations, drought and vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Mycorrhiza*. 2001; 11(1): 3–42. <https://doi.org/10.1007/s005720100097>
- Evelin H., Kapoor R., Giri B. Arbuscular mycorrhizal fungi in alleviation of salt stress: a review. *Annals of Botany*. 2009; 104(7): 1263–1280. <https://doi.org/10.1093/aob/mcp251>
- Nadeem S.M., Ahmad M., Zahir Z.A., Javaid A., Ashraf M. The role of mycorrhizae and plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) in improving crop productivity under stressful environments. *Biotechnology Advances*. 2014; 32(2): 429–448. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.12.005>
- Tang H. *et al.* The Critical Role of Arbuscular Mycorrhizal Fungi to Improve Drought Tolerance and Nitrogen Use Efficiency in Crops. *Frontiers in Plant Science*. 2022; 13: 919166. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.919166>
- Boorboori M.R., Lackóová L. Arbuscular mycorrhizal fungi and salinity stress mitigation in plants. *Frontiers in Plant Science*. 2025; 15: 1504970. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1504970>
- Wu S., Shi Z., Chen X., Gao J., Wang X. Arbuscular mycorrhizal fungi increase crop yields by improving biomass under rainfed condition: a meta-analysis. *PeerJ*. 2022; 10: e12861. <https://doi.org/10.7717/peerj.12861>
- Umer M. *et al.* Roles of arbuscular mycorrhizal fungi in plant growth and disease management for sustainable agriculture. *Frontiers in Microbiology*. 2025; 16: 1616273. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2025.1616273>
- Yurkov A.P. *et al.* The Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungus and Phosphorus Treatment on Root Metabolome of *Medicago lupulina* During Key Stages of Development. *Plants*. 2025; 14(17): 2685. <https://doi.org/10.3390/plants14172685>
- Yurkov A.P., Laktionov Yu.V., Kozhemyakov A.P., Stepanova G.V. Symbiotic efficiency of bacterial and fungal preparations for forage crops according to seed harvest. *Kormoproizvodstvo*. 2017; (3): 16–21 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/ygunsx>
- Yurkov A.P., Kozhemyakov A.P., Stepanova G.V. Efficiency of some microbial biopreparations on the basis of bacteria and fungi of Arbuscular mycorrhiza. *Multifunctional adaptive fodder production. Collection of scientific papers*. Moscow. 2018; 19: 20–28 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/yvotr>
- Phillips J.M., Hayman D.S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*. 1970; 55(1): 158–161, IN16–IN18. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)
- Trouvelot A., Kough J.L., Gianinazzi-Pearson V. Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes ayant une signification fonctionnelle. Gianinazzi-Pearson V., Gianinazzi S. (eds.). *Les Mycorhizes: physiologie et génétique*. Paris: INRA-Press. 1986; 217–221 (in French).
- Tawaray K. Arbuscular mycorrhizal dependency of different plant species and cultivars. *Soil Science and Plant Nutrition*. 2003; 49(5): 655–668. <https://doi.org/10.1080/00380768.2003.10410323>
- Baum C., El-Tohamy W., Gruda N. Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: A review. *Scientia Horticulturae*. 2015; 187: 131–141. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.002>
- Efimova I.L., Yurkov A.P. New methods of agric ecology to improve the quality of apple tree planting material. *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*. 2015; 55: 73–77 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/uzehij>

18. Кирпичников Н.А. и др. Эффективность фосфорных удобрений на периодически известкуемой почве при обработке семян ячменя и клевера биопрепаратами. *Агрохимия*. 2012; (11): 16–27. <https://www.elibrary.ru/pgsehj>

19. Крюков А.А., Кудряшова Т.Р., Беляева А.И., Горенкова А.И., Юрков А.П. Влияние инокуляции грибом *Rhizophagus irregularis* на экспрессию генов аквапоринов в корнях *Medicago lupulina* в условиях засухи. *Экологическая генетика*. 2025; 23(3): 263–275. <https://doi.org/10.17816/ecogen643544>

ОБ АВТОРАХ

Андрей Павлович Юрков¹

ведущий научный сотрудник,
кандидат биологических наук, доцент
ap.yurkov@arriam.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2231-6466>

Алексей Анатольевич Крюков¹

старший научный сотрудник,
кандидат биологических наук
aa.krukov@arriam.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8715-6723>

Татьяна Руслановна Кудряшова¹

инженер-исследователь,
кандидат биологических наук
t.kudryashova@arriam.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5120-7229>

Ангелина Ивановна Беляева¹

инженер-исследователь
angelkapustnikova@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0003-7535-9018>

Сергей Николаевич Никитин²

главный научный сотрудник,
доктор сельскохозяйственных наук
s_nikitin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6359-0955>

¹Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной микробиологии, шоссе Подбельского, 3, Пушкин, Санкт-Петербург, 196608, Россия

²Самарский федеральный исследовательский центр РАН, Ульяновский научно-исследовательский институт сельского хозяйства им. Н.С. Немцева, ул. Институтская, 19, пос. Тимирязевский, Ульяновск, Ульяновская обл., 433315, Россия

18. Kirpichnikov N.A. *et al.* Effect of phosphorus fertilizers, lime materials, and biopreparations on barley and clover plants in a mixed plantation. *Agricultural Chemistry*. 2012; (11): 16–27 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/pgsehj>

19. Kryukov A.A., Kudryashova T.R., Belyaeva A.I., Gorenkova A.I., Yurkov A.P. Effect of *Rhizophagus irregularis* inoculation on aquaporin gene expression in the roots of *Medicago lupulina* in drought conditions. *Ecological genetics*. 2025; 23(3): 263–275 (in Russian). <https://doi.org/10.17816/ecogen643544>

ABOUT THE AUTHORS

Andrey Pavlovich Yurkov¹

Leading Researcher, Candidate of Biological Sciences,
Associate Professor
ap.yurkov@arriam.ru
<https://orcid.org/0000-0002-2231-6466>

Alexey Anatolievich Kryukov¹

Senior Researcher, Candidate
of Biological Sciences
aa.krukov@arriam.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8715-6723>

Tatiana Ruslanovna Kudryashova¹

Research Engineer, Candidate
of Biological Sciences
t.kudryashova@arriam.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5120-7229>

Angelina Ivanovna Belyaeva¹

Research Engineer
angelkapustnikova@yandex.ru
<https://orcid.org/0009-0003-7535-9018>

Sergey Nikolaevich Nikitin²

Chief Researcher, Doctor of Agricultural
Sciences
s_nikitin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6359-0955>

¹All-Russian Research Institute for Agricultural Microbiology, 3 Podbelsky Highway, Pushkin, St. Petersburg, 196608, Russia

²Samara Science Center of the Russian Academy of Sciences, Ulyanovsk Agricultural Scientific Research Institute, 19 Institutskaya St., Timiryazevsky settlement, Ulyanovsk, Ulyanovsk region, 433315, Russia