

Оценка наличия эндофитной микоризы у *Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst. в засушливых условиях

Крылов Павел Андреевич, e-mail: krylov-p@vfanc.ru, к. б. н., в. н. с., ORCID 0000-0001-9587-5886, лаборатория геномных и постгеномных технологий

Малов Всеволод Олегович, инженер-исследователь, e-mail: malov-v@vfanc.ru, ORCID: 0000-0003-2766-0124,

лаборатория геномных и постгеномных технологий

Кузьмин Петр Анатольевич, e-mail: kuzmin-p@vfanc.ru, к. с.-х. н., в. н. с., ORCID: 0000-0002-1303-765X, лаборатория молекулярной селекции

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агроэкологии, комплексных мелиораций и защитного лесоразведения Российской академии наук» (ФНЦ агроэкологии РАН), e-mail: info@vfanc.ru, 400062, Университетский проспект, 97, Волгоград, Россия

Аннотация. Для борьбы с опустыниванием и восстановлением деградированных территорий юга России используются ксерофитные растения, например, одним из самых распространенных является терескен серый (*Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst.). Устойчивость данного растения связана не только с его видовой спецификой, но и наличием эндофитной микоризы, в число которой входит арбускулярная эндомикориза (АМ). Формирование АМ у растений способствует повышению устойчивости к неблагоприятным факторам внешней среды, в частности, засухе. В связи с этим целью работы стало проведение поиска возможного наличия АМ в корневой системе *K. ceratoides*. Для достижения поставленной цели были использованы морфологические методы исследования, с помощью которых проводили оценку микоризации и образования АМ по методу Травло. В результате исследования были выявлены характерные элементы, присущие как эндофитной микоризе, так и представителям АМ у *K. ceratoides*. Интенсивность заселения корневой системы эндофитной микоризой составила 37 %. Количество выявленных элементов АМ было 18 %, а число в микоризованных фрагментов корня около 3 %. Полученные данные свидетельствуют о том, что скорее всего есть симбиотическая связь между эндофитными грибами, включая АМ и *K. ceratoides*, что может способствовать его устойчивости к неблагоприятным факторам внешней среды. Установленный факт может представлять интерес для дальнейших исследований, направленных на отбор групп эндофитных грибов, повышающих устойчивость растений к засухе.

Ключевые слова: *Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst., эндофитная микориза, арбускулярная эндомикориза, засушливые условия, опустынивание.

Финансирование: Исследования проведены в рамках гранта Российского научного фонда «24-26-00174 Видовое разнообразие арбускулярной эндомикоризы и ее влияние на засухоустойчивость ксерофитных растений аридных территорий юга России».

Цитирование. Крылов П. А., Малов В. О., Кузьмин П. А. Оценка наличия эндофитной микоризы у *Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst. в засушливых условиях // Научно-агрономический журнал. 2024. 4(127). С. 17-21. DOI: 10.34736/FNC.2024.127.4.002.17-21.

Поступила в печать: 11.11.2024

Принята в печать: 02.12.2024

Введение. Опустынивание является одной из ключевых проблем, характерных для территорий с аридным климатом, которые приводят к увеличению заброшенных сельскохозяйственных угодий. Для решения сложившейся проблемы необходимо разрабатывать комплексные агролесомелиоративные технологии для восстановления деградированных территорий, которые учитывают особенности формирования устойчивости растений к засушливым условиям. Важным фактором формирования такой устойчивости к негативным абиотическим факторам среды является образование симбиотической связи между растением и эн-

дофитной микоризой, включая АМ [6]. АМ представляет собой симбиоз грибов и травянистых и древесно-кустарниковых растений, за счет которого обеспечивается питание, рост и формирование устойчивости [1, 2, 7, 8, 11, 15]. Грибковые гифы эндофитной микоризы могут находиться на поверхности или занимать межклеточное пространство, в то время как АМ может проникать внутрь растительной клетки для развития внутриклеточных арбускул, которые окружены растительной мембраной. Симбиотическая граница раздела растение – гриб считается основным местом передачи питательных веществ растению-хозяину [5, 13].

Кроме того, наличие эндофитной микоризы в корнях растений способствует увеличению биомассы по сравнению с теми, у которых она отсутствует, а также их защите [12]. Рост и развитие многолетних растений также улучшается за счет образования симбиотических связей с эндофитной микоризой [16], а древесно-кустарниковые растения благоприятно реагируют на колонизацию микоризой [4, 10].

Для борьбы с опустыниванием территорий применяются различные агролесомелиоративные технологии, в частности, создание защитных полос из представителей ксерофитных растений, а именно терескена серого (*Krascheninikovia ceratoides* (L.) Gueldenst.) [3, 9]. *K. ceratoides* представляет собой полукустарничек, хорошо растущий в посевах, и являющийся перспективным растением для организации устойчивого кормопроизводства на засушливых территориях. Кроме того, он применяется для формирования мелиоративно-кормовых насаждений на низкогумусированных, засоленных, песчаных почвах. В настоящее время недостаточно изучен механизм его высокой адаптационной способности к засухе с позиции формирования симбиотических связей с эндофитной микоризой корневой системы.

В связи с вышеизложенным, целью исследования стал поиск и морфологический анализ эндофитной микоризы корневой системы *K. ceratoides*, произрастающего в засушливых условиях, для дальнейших исследований в области изучения механизмов адаптации ксерофитных растений.

Материалы и методы. Для поиска эндофитной микоризы и АМ в июне 2024 г. было обследовано свыше 40 особей *K. ceratoides*, произрастающего на территории «урочища Кордон» Астраханской области (47°24'49.2"N 47°53'01.2"E) с характерным аридным климатом. Отбор элементов корневой системы у особей *K. ceratoides* осуществлялся на основе проведенных ранее исследований функционирования фотосинтетического аппарата по содержанию хлорофиллов и каротиноидов. В выборку были взяты особи *K. ceratoides* с наибольшим их содержанием в вегетирующих побегах.

Для дальнейшего изучения эндофитной микоризы и АМ были выбраны по 10 особей в каждой популяции с наилучшими характеристиками фотосинтетического аппарата. Глубина забора элементов корневой системы для *K. ceratoides* в среднем составляла 20-30 см. Корни собирались в зип-пакеты, помещались в переносной холодильник и транспортировались в лабораторию для дальнейшего исследования.

Предварительная оценка наличия и степени заселения корневой системы эндофитной микоризой, включая АМ, проводилась с использованием метода Травло [14]. Сегменты корней

K. ceratoides размером 1 см, предварительно очищенные от земли, промывались в 10 %-ном КОН в течение 60 мин. при температуре 90 °С на водяной бане BW-12 (BEING, Китай). Трижды промытые в воде корни помещались в 2 %-ный раствор HCl на 45 мин. Далее корни в индивидуальных кассетах помещались на 60 мин. в раствор 0,05 % трипанового синего в лактоглицерине (молочная кислота, глицерин и вода в соотношении 5:1:1) при температуре 90 °С на водяной бане. Корни после окраски переносились в чашку Петри с 50 % глицерина. С помощью пинцета аккуратно отделяли слой ризодермы и помещали на предметное стекло, после чего готовые препараты микроскопировались на световом микроскопе Микомед-5 (Ломо, Россия). Микрофотографии были получены с помощью насадки для микроскопа EZSPM08300KPE (ООО "Центр Информационных Технологий "НЕЛИАН", Россия) и программы TourView (TourTek, Китай). Оценка колонизации микоризой корней *K. ceratoides* проводилась на 15 сегментах в 30 полях зрения по следующим показателям в процентах: *F* – частота появления микоризы в корневой системе, *M* – интенсивность заселения корневой системы микоризой, *a* – наличие арбускул в корневой системе и *A* – обилие арбускул в микоризных частях фрагментов корней. Количественные данные, полученные после расчета *F*, *M*, *a* и *A* в процентах, обрабатывали с помощью программы Statistica 12.0 (StatSoftInc, США) [14].

Результаты и обсуждение. В ходе поиска наличия АМ в корневой системе *K. ceratoides* было выявлено наличие грибов с характерными морфологическими признаками для данного вида микоризы (рис. 1). Окраска трипановым синим позволяет хорошо визуализировать сеть гифов микоризы у всех растений. Интенсивность микоризации может быть обусловлена видовой спецификой исследуемого вида.

Результаты анализа степени заселения корней *K. ceratoides* эндофитными грибами и, предположительно АМ, представлены на рис. 2. Наличие арбускул в микоризованных частях корневой системы составляло 12 %, степень заселения корневой системы АМ – 3,4 %. Частота появления микоризы в корневой системе достигала 89 %, что наглядно продемонстрировано на рис. 1. При этом стоит отметить, что наличие большого количества гифов не является фактом того, что это АМ, так как это могут быть тела других как симбиотических, так и сапротрофных грибов. При визуальной оценке жизненного состояния *K. ceratoides* не было выявлено каких-либо признаков увядания.

Интенсивность микоризации корневой системы находилась на уровне 37 %, что говорит нам о достаточной «толерантности» *K. ceratoides* к грибам, локализованным в ризосфере. В ходе анализа было выявлено наличие арбускул

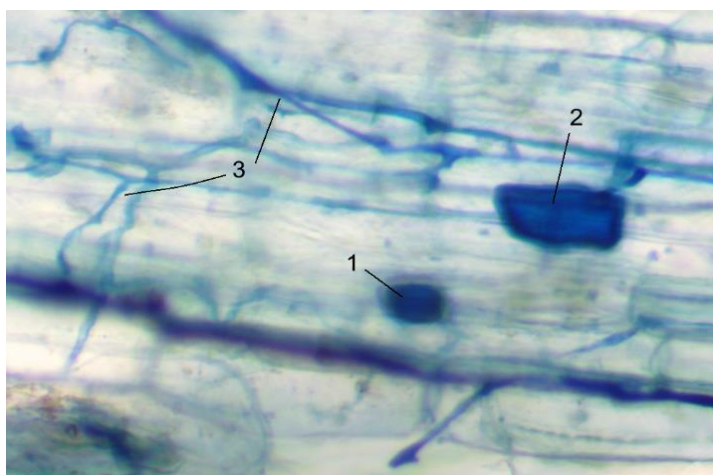


Рис. 1. АМ во фрагменте корня *K. ceratodes* (1 – везикулы, 2 – арбускулы, 3 – гифы, окраска трипановым синим, $\times 200$)

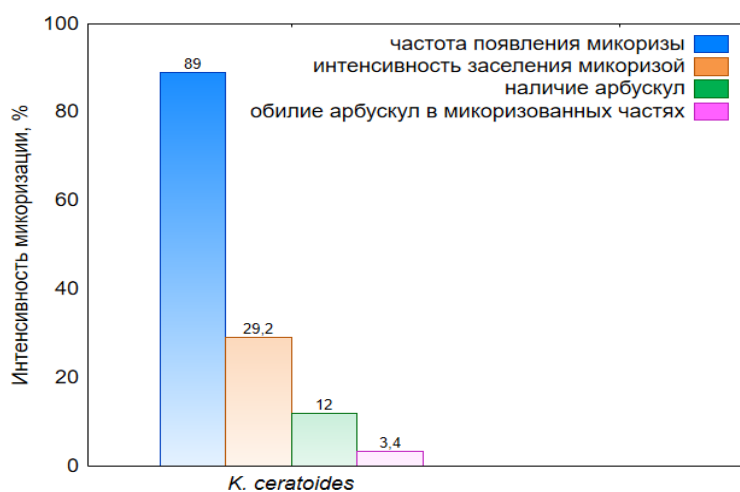


Рис. 2. Результаты заселения АМ корней *K. ceratodes*, произрастающего в условиях аридного климата

в корневой системе с их долей 18 % и числом в микорризованных фрагментах корня около 3 %. Это является доказательством того, что помимо АМ на корнях локализованы и другие семейства грибов, не образующие арбускул.

Заключение. В ходе проведенных полевых и лабораторных исследований у *K. ceratodes*, произрастающего на засушливой территории была выявлена интенсивная микорризация корневой системы. По результатам морфологического обследования было выявлено наличие элементов

эндофитной микорризы, включая АМ. Однако не исключено, что такая степень микорризации может быть связана с интенсивным ростом сапротрофных грибов.

Полученные данные представляют большой интерес для изучения симбиотических связей между *K. ceratodes* и эндофитной микорризой, включая АМ, которые могут участвовать в формировании адаптивного потенциала к неблагоприятным засушливым условиям окружающей среды.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борисов Б. А., Поздняков Л. А., Селицкая О. В., Трибис Л. И. Влияние микорризообразующего гриба *Glomus intraradices* на фитозэкстракцию никеля и меди и состояние микробных ценозов в условиях модельного опыта // Вестник Московского университета. Серия 17: Почвоведение. 2016. № 3. С. 25-29.
2. Брындина Л. В., Арнаут Ю. И., Алыкова О. И. Микорризообразующие грибы в формировании биогеоценозов: аналитический обзор // Лесотехнический журнал. 2022. Т. 12. № 1(45). С. 5-20. DOI 10.34220/issn.2222-7962/2022.1/1.
3. Булахтина Г. К., Кудряшова Н. И., Подопригоров Ю. Н. Влияние кустарниковых защитных полос с использованием тамарикса многоветвистого (*Tamarix ramosissima* Led.) на полупустынную паст-

4. Бишную экосистему // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 1(57). С. 105-113. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-01-11.
4. Ибрагимов К. М., Умаханов М. А., Гамидов И. Р. Сравнительная характеристика аридных кормовых полукустарников – терескена серого (*Eurotia ceratoides*) и полыни таврической (*Artemisia taurica*) // Горное сельское хозяйство. 2019. № 4. С. 63-69.
5. Леппянен И. В., Штарк О. Ю., Павлова О. А., Бовин А. Д., Иванова К. А., Серова Т. А. Долгих Е. А. Анализ эффектов совместной инокуляции грибами арбускулярной микорризы и ризобиями на рост и развитие растений гороха *Pisum sativum* L. // Сельскохозяйственная биология. 2021. Т. 56, № 3. С. 475-486.

DOI 10.15389/agrobiology.2021.3.475rus.

6. Макаров М. И. Роль микоризы в трансформации соединений азота в почве и в азотном питании растений (обзор) // Почвоведение. 2019. № 2. С. 220-233. DOI: 10.1134/S0032180X19020102.

7. Разгулин С. М. Микоризные комплексы и их роль в экологии бореальных лесов (Обзор) // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. 2022. № 6. С. 668-677. DOI 10.31857/S1026347022060142.

8. Юрков А. П., Крюков А. А., Якоби Л. М., Кожемяков А. П., Шишова М. Ф. Взаимосвязь показателей активности и эффективности штаммов грибов арбускулярной микоризы различного происхождения // Таврический вестник аграрной науки. 2017. № 4(12). С. 31-41.

9. Bahram M., Netherway T., Hildebrand F., Pritsch K., Drenkhan R., Loit K., Anslan S., Bork P., Tedersoo L. Plant nutrient-acquisition strategies drive topsoil microbiome structure and function // The New phytologist. 2020. Vol. 227. No. 4. P. 1189-1199. DOI:10.1111/nph.16598.

10. Jayne B., Quigley M. Influence of arbuscular mycorrhiza on growth and reproductive response of plants under water deficit: a meta-analysis // Mycorrhiza. 2014. Vol. 24. № 2. P. 109-119. DOI:10.1007/s00572-013-0515-x.

11. Li W., Yang J, Zhan F., Guo J., Zhang Y., Ba Y., Dong H., He Y. Characteristics of the rhizospheric AMF community and nutrient contents of the dominant grasses in four microhabitats of the subalpine zone in northwest-

ern Yunnan, China // Forests. 2024. Vol. 15(4). P. 656. DOI: 10.3390/f15040656

12. Perotto S., Balestrini R. At the core of the endomycorrhizal symbioses: intracellular fungal structures in orchid and arbuscular mycorrhiza // New Phytol. 2024. Vol. 242. №. 4. P. 1408-1416. DOI:10.1111/nph.19338

13. Sharma K., Kapoor R. Arbuscular mycorrhiza differentially adjusts central carbon metabolism in two contrasting genotypes of *Vigna radiata* (L.) Wilczek in response to salt stress // Plant Sci. 2023. Vol. 332. P. 111706. DOI: 10.1016/j.plantsci.2023.111706.

14. Trouvelot A., Kough J. L. Gianinazzi-Pearson V. Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle // In book: Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae, V. Gianinazzi-Pearson and S. Gianinazzi (eds.). INRA Press, 1986. P. 217-221.

15. Wang M., Wang Z., Guo M., Qu L., Biere A. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and herbivore infestation depend on availability of soil water and nutrients // Front. Plant Sci. 2023. Vol. 14. P. 1101932. DOI: 10.3389/fpls.2023.1101932

16. Zhou Y., Wei M., Li Y., Tang M., Zhang H. Arbuscular mycorrhizal fungi improve growth and tolerance of *Platycladus orientalis* under lead stress // Int. J. Phytoremediation. 2023. Vol. 25. №. 14. P. 1967-1978. DOI:10.1080/15226514.2023.2212792.

UDC 632.112:632.937.1.07

DOI: 10.34736/FNC.2024.127.4.002.17-21.

Assessment of the presence of endophytic mycorrhiza in *Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst. in arid conditions

Krylov Pavel Andreevich, e-mail: krylov-p@vfanc.ru, к. б. н., Leading Researching, ORCID 0000-0001-9587-5886

Malov Vsevolod Olegovich, postgraduate student, e-mail: malov-v@vfanc.ru, ORCID: 0000-0003-2766-0124

Kuzmin Petr Anatolyevich, e-mail: kuzmin-p@vfanc.ru, к. с.-х. н., Leading Researching, ORCID: 0000-0002-1303-765X

Federal State Budget Scientific Institution «Federal Scientific Centre of Agroecology, Complex Melioration and Protective Afforestation of the Russian Academy of Sciences» (FSC of Agroecology RAS), e-mail: info@vfanc.ru, 400062, Universitetskiy Prospekt, 97, Volgograd, Russia

Abstract. Xerophytic plants are used to combat desertification and restore degraded territories in Southern Russia, for example, one of the most common is Teresken gray (*Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst.). The stability of this plant is associated not only with its species specificity, but also with the presence of endophytic mycorrhiza, which includes arbuscular endomycorrhiza fungi (AMF). The formation of AMF in plants contributes to increased resistance to adverse environmental factors, in particular drought. In this regard, the aim of the work was to search for the possible presence of AMF in the root system of *K. ceratoides*. To achieve this goal, morphological research methods were used, with the help of which mycorrhization and AMF formation

were evaluated using the Etching method. The research results revealed elements inherent in both endophytic mycorrhiza and representatives of AMF in *K. ceratoides*. The intensity of colonization of the root system by endophytic mycorrhiza was 37 %. The number of identified AMF elements was 18 %, and the number in mycorrhizal root fragments was about 3 %. The data obtained indicate that there is most likely a symbiotic relationship between endophytic fungi, including AMF and *K. ceratoides*, which may contribute to its resistance to adverse environmental factors. This fact may be of interest for further research aimed at selecting groups of endophytic fungi that increase plant resistance to drought.

Keywords: *Krascheninnikovia ceratoides* (L.)

Gueldenst., endophytic mycorrhiza, arbuscular endomycorrhiza, arid conditions, desertification.

Funding: This research was conducted within the framework of the Russian Science Foundation grant 24-26-00174 «Species diversity of arbuscular mycorrhiza and its influence on the drought tolerance of xerophytic plants in arid regions of Southern Russia».

Citation: Krylov P. A., Malov V. O., Kuzmin P. A. Assessment of the presence of endophytic mycorrhiza in *Krascheninnikovia ceratoides* (L.) Gueldenst. in arid conditions // Научно-агрономический журнал. 2024. 4(127). С. 17-21. DOI: 10.34736/FNC.2024.127.4.002.17-21.

Received: 11.11.2024

Acctpted: 02.12.2024

REFERENCES

1. Borisov B. A., Pozdnyakov L. A., Selitskaya O. V., Tribis L. I. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi *Glomus intraradices* on phytoextraction of nickel and copper and condition of microbial communities // Vestnik moskovskogo universiteta. Seriya 17: pochvovedenie. 2016. No 3. P. 25-29.
2. Bryndina L. V., Arnaut Yu. I., Alykova O. I. Mycorrhizal fungi in the formation of biogeocenoses: analytical review // Forestry Engineering Journal. 2022. T. 12, No. 1(45). P. 5-20. DOI 10.34220/issn.2222-7962/2022.1/1.
3. Bulakhtina G. K., Kudryashova N. I., Podoprigrorov Yu. N. Influence of shrub protective bands using (*Tamarix ramosissima* Led.) semi-empty pasture ecosystem // Proceedings of lower Volga agro-university complex: science and higher education. 2020. No 1(57). P. 105-113. DOI: 10.32786/2071-9485-2020-01-11.
4. Leppyanen I. V., Shtark O. Y., Pavlova O. A., Bovin A. D., Ivanova K. A., Serova T. A., Dolgikh E. A. Analysis of the effects of joint inoculation by arbuscular mycorrhizal fungi and rhizobia on the growth and development of pea plants *Pisum sativum* L. // Agricultural biology. 2021. T. 56, No 3. P. 475-486. DOI 10.15389/agrobiol.2021.3.475rus.
5. Makarov M. I. The role of mycorrhiza in transformation of nitrogen compounds in soil and nitrogen nutrition of plants: a review // Eurasian Soil Science. 2019. No 2. P. 220-233. DOI: 10.1134/S0032180X19020102.
6. Razgulin S. M. Mycorrhizal complexes and their role in the ecology of boreal forests // Proceedings of the Russian academy of sciences. Biological series. 2022. No 6. P. 668-677. DOI 10.31857/S1026347022060142.
7. Ibragimov K. M., Umakhanov M. A., Gamidov I. R. Comparative characteristics of arid forage semi-shrubs-teresken gray (*Ceratodes eurotia*) and sagebrush taurica (*Artemisia taurica*) // Mining agriculture. 2019. No 4. С. 63-69.
8. Yurkov A. P., Kryukov A. A., Yacobi L. M., Kozhemyakov A. P., Shishova M. F. Correlations of activity and efficiency characteristics for arbuscular mycorrhizal fungi of with different origin // Taurida Herald of the Agrarian Sciences. 2017. No 4(12). P. 31-41.
9. Bahram M., Netherway T., Hildebrand F., Pritsch K., Drenkhan R., Loit K., Anslan S., Bork P., Tedersoo L. Plant nutrient-acquisition strategies drive topsoil microbiome structure and function // The New phytologist. 2020. Vol. 227. No. 4. P. 1189-1199. DOI:10.1111/nph.16598.
10. Jayne B., Quigley M. Influence of arbuscular mycorrhiza on growth and reproductive response of plants under water deficit: a meta-analysis // Mycorrhiza. 2014. Vol. 24. No. 2. P. 109-119. DOI:10.1007/s00572-013-0515-x.
11. Li W., Yang J., Zhan F., Guo J., Zhang Y., Ba Y., Dong H., He Y. Characteristics of the rhizospheric AMF community and nutrient contents of the dominant grasses in four microhabitats of the subalpine zone in northwestern Yunnan, China // Forests. 2024. Vol. 15(4). P. 656. DOI: 10.3390/f15040656
12. Perotto S., Balestrini R. At the core of the endomycorrhizal symbioses: intracellular fungal structures in orchid and arbuscular mycorrhiza // New Phytol. 2024. Vol. 242. No. 4. P. 1408-1416. DOI:10.1111/nph.19338.
13. Sharma K., Kapoor R. Arbuscular mycorrhiza differentially adjusts central carbon metabolism in two contrasting genotypes of *Vigna radiata* (L.) Wilczek in response to salt stress // Plant Sci. 2023. Vol. 332. P. 111706. DOI: 10.1016/j.plantsci.2023.111706.
14. Trouvelot A., Kough J. L., Gianinazzi-Pearson V. Mesure du taux de mycorhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle // In book: Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae, V. Gianinazzi-Pearson and S. Gianinazzi (eds.). INRA Press, 1986. P. 217-221.
15. Wang M., Wang Z., Guo M., Qu L., Biere A. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on plant growth and herbivore infestation depend on availability of soil water and nutrients // Front. Plant Sci. 2023. Vol. 14. P. 1101932. DOI: 10.3389/fpls.2023.1101932
16. Zhou Y., Wei M., Li Y., Tang M., Zhang H. Arbuscular mycorrhizal fungi improve growth and tolerance of *Platycladus orientalis* under lead stress // Int. J. Phytoremediation. 2023. Vol. 25. No. 14. P. 1967-1978. DOI:10.1080/15226514.2023.2212792.

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования, ознакомился и одобрил представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. Author of this research paper have directly participated in the planning, execution and analysis of this study. Author of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. Author declare no conflict of interest.