

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского

Биология. Химия. Том 9 (75). 2023. № 4. С. 3–14.

УДК 579.64 : 633.81

СИМБИОТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НОВЫХ АССОЦИАЦИЙ ГРИБОВ АРБУСКУЛЯРНОЙ МИКОРИЗЫ ПРИ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С *CORIANDRUM SATIVUM*

Абдурашитов С. Ф.¹, Алексеева А. И.¹, Грицевич К. С.¹, Сейтаджиева С. Б.¹,
Зубоченко А. А.¹, Юрков А. П.²

¹ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», Симферополь,
Республика Крым, Россия

²ФГБНУ Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной
Микробиологии, Санкт-Петербург, Россия
E-mail: asuleyman83@rambler.ru

Кориандр занимает наибольшие площади выращивания среди эфиромасличных растений в Крыму, в почвах которого малые запасы растворимых фосфатов. Также известно, что при взаимодействии микроорганизмов и растений, микросимбионты способны обеспечивать макросимбионта труднодоступными растворимыми фосфорными элементами питания. Поэтому мы поставили задачу в условиях недостаточного обеспечения растворимыми фосфатами проанализировать развитие различных ассоциаций грибов арбускулярной микоризы в корнях кориандра и их влияние на симбиотическую эффективность и продуктивность растений. В ходе эксперимента определено, что из 6 новых ассоциаций грибов АМ лучшей являлась ассоциация 1-16. Она активно колонизировала корни кориандра, а симбиотическая эффективность достигла более 35% в фазу цветения. Этому способствовало изменение и других параметров симбиоза.

Ключевые слова: *Coriandrum sativum*, арбускулярная микориза, комплекс биопрепаратов, усвоение фосфора, продуктивность растений.

ВВЕДЕНИЕ

Кориандр посевной (*Coriandrum sativum* L.) – высокорентабельная эфиромасличная культура. Лидерами по производству являются Индия, Турция, Мексика. Во всем мире ежегодно выращивают до 2,2 млн. т на 1,5–2 млн. га [1, 2]. Практическую ценность представляет его возделывание на территории Крыма, а климат содействует распространению данной культуры [3]. В 2020 году в республике культуру выращивали около 20 предприятий на площади более 43 тыс. га, что составляет 85,4 % от площади насаждений всех эфиромасличных [4]. Почвенно-климатические условия Крыма способствуют накоплению в эфирном масле кориандра линалоола, содержание которого должно быть не менее 65 % при

изготовлении парфюмерно-косметических изделий [3]. Также при средней урожайности 10 ц/га можно получить 25–30 кг с га эфирного масла.

Одним из наиболее распространенных видов симбиоза растений и микроорганизмов является арбускулярная микориза (АМ) [5], образованная грибами из отдела *Glomeromycota* [6, 7]. АМ улучшает структуру почвы за счет формирования стабильных агрегатов, поскольку мицелий образует общую микоризную сеть [8], предотвращая водную эрозию [9–11]. Кроме описанных положительных влияний на растения, грибы арбускулярной микоризы (АМГ) имеют способность поставлять симбиотическому партнеру воду [12–14] и растворенные в ней фосфорные и другие соединения из тех участков почвы [15], куда не проникают всасывающие части корней, за счет развитого внекорневого мицелия. Возможно, положительный эффект АМГ может быть связан с работой аквапоринов – трансмембранных белков, отвечающих, как и у растений, за пропуск воды по градиенту концентрации веществ [15–18].

Изученность *C. sativum* недостаточно освещена при выращивании его с применением биотехнологий, в частности с АМГ и другими микроорганизмами. Информация о роли АМ на компонентный состав эфирного масла ограничен влиянием на некоторые ее компоненты. В то же время показано увеличение выхода эфирного масла при обработке растений АМГ [19, 20]. Симбиоз с микоризными грибами уменьшал токсические эффекты наличия свинца в субстрате на растения кориандра с помощью регулирования ферментативных и неферментативных антиоксидантов и предохранением фотосинтетических пигментов [21]. Предполагается, что работа ферментативной системы микоризных грибов будет способствовать расширению площадей, занятых культурой кориандра в засушливых условиях. Одним из первичных условий создания взаимодействия и изучения влияния на симбиотическую эффективность является подбор наиболее продуктивной пары «растения-штаммы микроорганизмов» [22–24]. Поэтому цель исследований проанализировать микоризацию различными ассоциациями грибов АМ в корнях кориандра и их влияние на симбиотическую эффективность и продуктивность растений в модельных условиях недостаточного обеспечения растворимыми фосфатами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Экспериментальные работы проводили в 2023 году в серии вегетационных опытов на базе лаборатории молекулярной генетики, протеомики и биоинформатики ФГБУН «НИИСХ Крыма».

Материалы исследований. Изучались новые ассоциации грибов АМ, выделенные в 2016-2021 гг.: *Funneliformis mosseae* S1-4, *F. mosseae* 1-16, *F. mosseae* 5-16, LK¹, КОЗК¹, LM¹, которые являются частью Крымской коллекции микроорганизмов (<https://ckp-rf.ru/catalog/usu/507484>). В качестве стандартного штамма использован *Rhizophagus irregularis* RCAM 00320 из коллекции Всероссийского НИИ сельскохозяйственной микробиологии, биопрепарат

¹ – Видовая принадлежность уточняется

Микробиоком^{агро} (далее КМП, предоставлен лабораторией экологии и физиологии микроорганизмов ФГБУН «НИИСХ Крыма»), включающий штаммы бактерий *Paenibacillus polymyxa* П13НК, *Lelliottia nimipressuralis* 32-3, *Agrobacterium radiobacter* 204. Симбиотическая эффективность проверялась на кориандре посевном сорта Силач (селекции ФГБУН «НИИСХ Крыма», <http://www.ckrp-rf.ru/usu/507515/>)

Вегетационный опыт проводили в пластиковых сосудах объемом 0,5 л (n=15). В качестве субстрата использовали стерильную смесь промытого кварцевого песка и вермикулита (1:1 по объему) [25, 26]. В субстрат внесли инокулят ассоциаций грибов АМ из расчета 50 колонизирующих единиц (споры+отрезки корней) на семя. Семена кориандра простерилизованы перед посевом 10 % раствором перекиси водорода и промыты стерильной водой. Все семена, кроме контроля без обработки, бактериализованы микробным препаратом Микробиоком^{агро} из расчета 10⁶ КОЕ/семя. Высев проводили по 15 шт./сосуд, а после прорастания оставлено по 20 растений/сосуд. Контролем были семена, промытые стерильной водой. Полив осуществляли фильтрованной водой три раза в неделю, в том числе один раз в неделю питательным раствором Прянишникова [27]. Норму полива устанавливали по массе из расчета 60 % полной влагоемкости (ПВ) субстрата. Фосфорный режим регулировался с добавлением нерастворимого ортофосфата кальция (1 г на кг субстрата), а в питательном растворе Прянишникова снижением количества растворимого фосфора на 80 % от описанного автором. Отбор проводили в фазу стеблевания и начало цветения.

Учет микоризации, симбиотической эффективности. Визуализацию развития микоризы проводили окрашиванием отрезков корней черными чернилами [28]. Микоризацию оценивали в проходящем свете под стереомикроскопом количественно по методике Травло [29]. Симбиотическую эффективность определяли согласно патенту [30].

Агрохимические исследования и статистический анализ. Содержание фосфора в надземной части растений определяли с использованием сжигания по методу Кьельдаля с последующим титрованием (ГОСТ 26715-85, ГОСТ 13496.4-2019). Постановка вегетационного опыта и статистический анализ полученных результатов проведены по Доспехову Б. А. [26] с использованием пакета программ Excel. Достоверность определяли согласно критерию Стьюдента при $p \leq 0,05$ или $p \leq 0,01$, что указано в соответствующем параметре. Корреляционный граф построен согласно методическим указаниям Воробьева [31].

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате предварительных экспериментов определено, что в симбиозе с кориандром наиболее активны ассоциации *F. mosseae* 1-16, *F. mosseae* 5-16 и ЛК. Вывод сделан на основе уровня колонизации корней грибами АМ и продуктивности растений. Частота встречаемости микоризной колонизации (МК) у эффективных ассоциаций составляла 86,2–98,3 %, а интенсивность МК – 60,2–79,8 %, что соответствовало штамму-стандарту РСАМ00320. В контроле микоризации не обнаружено. Отмечено, что ассоциация КОЗК недостаточно эффективно вступила в

симбиоз с кориандром, а ассоциация S1-4 встречалась только в 8,6 % длины корней, что отразилось на выживаемости (63,6–72,7 %) растений в условиях нехватки растворимых фосфатов. В контроле масса высушенных побегов составила 324,4 мг/растение, при внесении ассоциаций 1-16, 5-16 и LK прибавка составила 217,6–291,9 мг/растение, а симбиотическая эффективность 67,1–90,0 %. Далее в экспериментах использовали ассоциации 1-16, 5-16 и LK.

В основном эксперименте растения оценивали в две фазы роста: стебление и начало цветения (бутонизация) (рис. 1.).

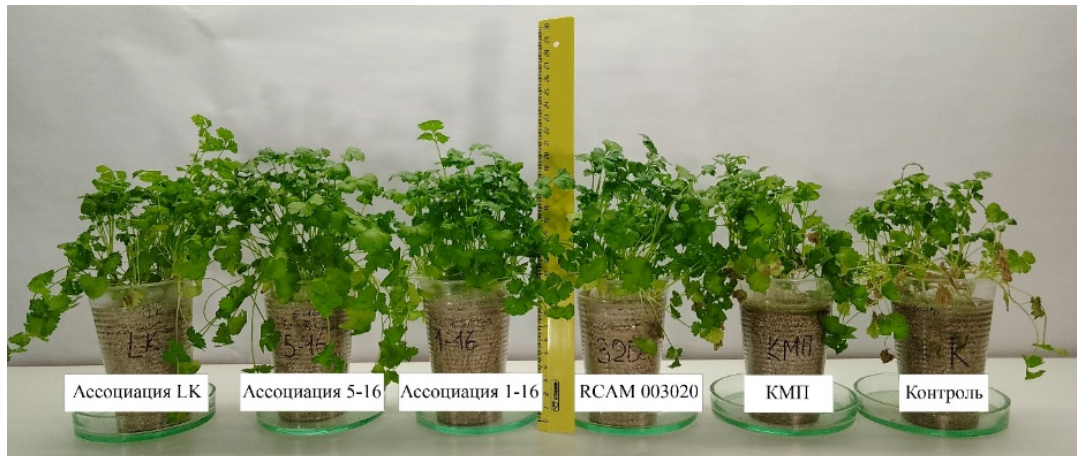


Рис. 1. Внешний вид растений в фазу стеблевания из основного эксперимента по вариантам обработки ассоциациями АМГ.

Примечание. Все семена, кроме контроля, бактеризованы КМП.

В контроле и при бактеризации семян КМП формирования микоризного симбиоза не наблюдали. В вариантах с микоризацией отмечено, что ассоциации 1-16 и 5-16 быстрее формируют симбиоз по сравнению со штаммом-стандартом и ассоциацией LK. В фазу стеблевания частота встречаемости МК и интенсивность МК соответственно на 5,5–6,7 % и 24,0–41,5 % выше штамма RCAM00320 (рис. 2). Ассоциация 1-16 также превышала остальные обработки АМГ по обилию арбускул на 29,6–48,2 %. Обилие везикул определено 13,6–30,5 % во всех вариантах, кроме 5-16, в котором они встречались единично (рис. 3). Это, а также высокая интенсивность МК и обилие арбускул означают, что гриб еще не закончил цикл развития и будет продолжать взаимодействовать с растением. В фазу цветения МК (интенсивность, обилие арбускул и везикул) повысилась на 22,4–24,4 % только в варианте с внесением RCAM00320 по сравнению с фазой стеблевания. Остальные изучаемые ассоциации АМГ менее обильно присутствовали в корнях, увеличив только количество везикул на 10,3–24,1 % по сравнению с предыдущей стадией развития растений. Во второй изучаемой фазе эксперимента интенсивность МК и обилие арбускул были наибольшими у RCAM00320 и 1-16 и составили 66,8–73,0 % и 55,9–58,7 % соответственно.

СИМБИОТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НОВЫХ АССОЦИАЦИЙ ГРИБОВ ...

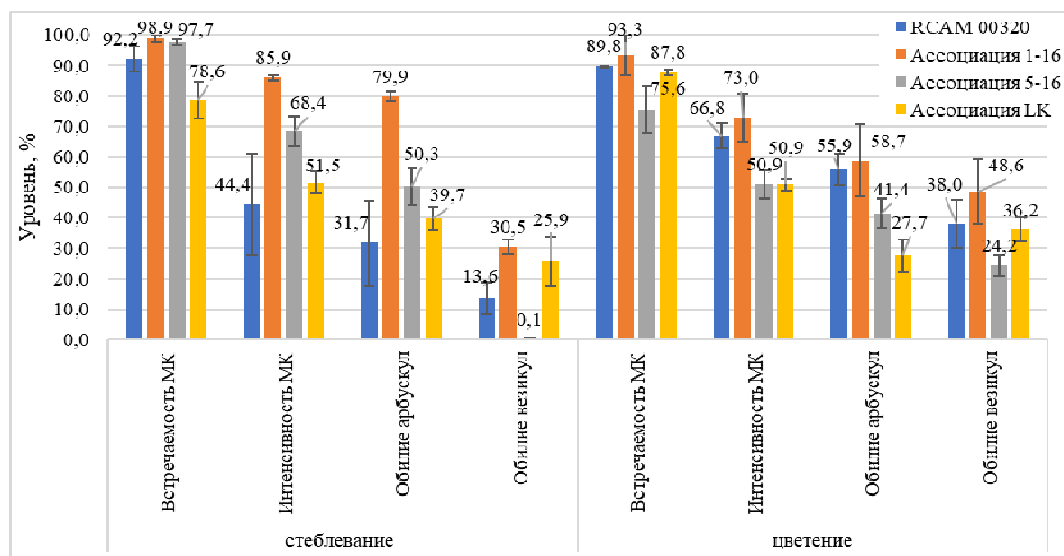


Рис. 2. Уровень микоризной колонизации (МК) корней кориандра новыми ассоциациями грибов АМ ($p \leq 0,05$).

Развитие АМ в корнях способствовало усиленному поглощению фосфора из нерастворимого ортофосфата кальция в субстрате (рис. 4). Все АМГ в комплексе с бактериализацией семян и отдельная обработка КМП увеличивали содержание фосфора в побегах и корнях в фазу стеблевания и в надземной части растения в фазу цветения на 0,9–5,0 мг (в 1,3–2,8 раза), 0,6–4,4 мг (в 1,1–2,0 раза) и 0,7–2,0 мг (в 1,3–1,9) соответственно по сравнению с вариантом без обработки микроорганизмами. В КМП присутствует штамм *Lelliottia nimipressuralis* 32-3, который выделен как фосфатмобилизующая бактерия [Чайковская, 2019], на чем основано свойство всего комплексного биопрепарата растворять неорганический фосфор и поставлять его растениям. Также в ходе вегетационного опыта показано, что АМГ значительно увеличили поступление фосфора в побеги *C. sativum* на 1,7–4,1 мг (45,9–110,8 %) в фазу стеблевания и 2,2–3,8 мг (43,1–74,5 %) в фазу цветения по сравнению с работой бактерий, входящих в состав КМП.

Усвоение фосфора положительно отразилось на продуктивности растений кориандра. При этом в фазу стеблевания сухая масса растений повысилась на 7,2 мг при взаимодействии с ассоциацией 5-16 в сравнении с контролем и на 10,7 мг в сравнении с обработкой только КМП (табл. 1). В фазу цветения кориандра интенсивность роста под действием изучаемых ассоциаций и штамма АМГ усилилась и продуктивность растений относительно контроля составила +7,0–17,3 мг/растение. По усилению продуктивности рассчитали симбиотическую эффективность новых ассоциаций, которая в фазу цветения у ассоциации *F. mosseae* 1-16 составила 26,5 % к контролю и 35,5 % к КМП. Отмечено, что симбиотическая эффективность новой ассоциации значительно на 15,8–16,9 % выше штамма-референта в условиях эксперимента.

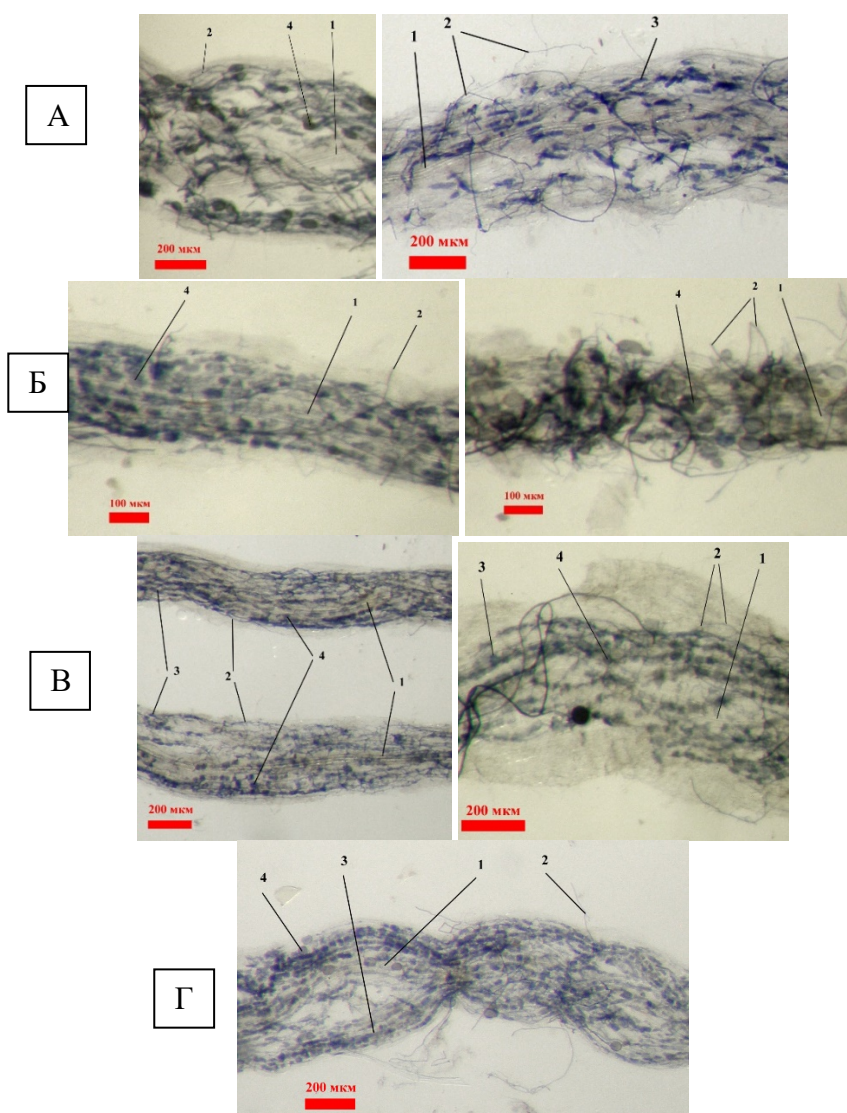


Рис. 3. Внутрикорневые структуры АМ, образованные новыми ассоциациями с кориандром посевным.

Примечания: А – *R. irregularis* RCAM 00320, Б – *F. mosseae* 1-16, В – *F. mosseae* 5-16, Г – ассоциация LK; 1 – осевой цилиндр корня, 2 – гифы АМГ; 3 – арбускулы, 4 – везикулы.

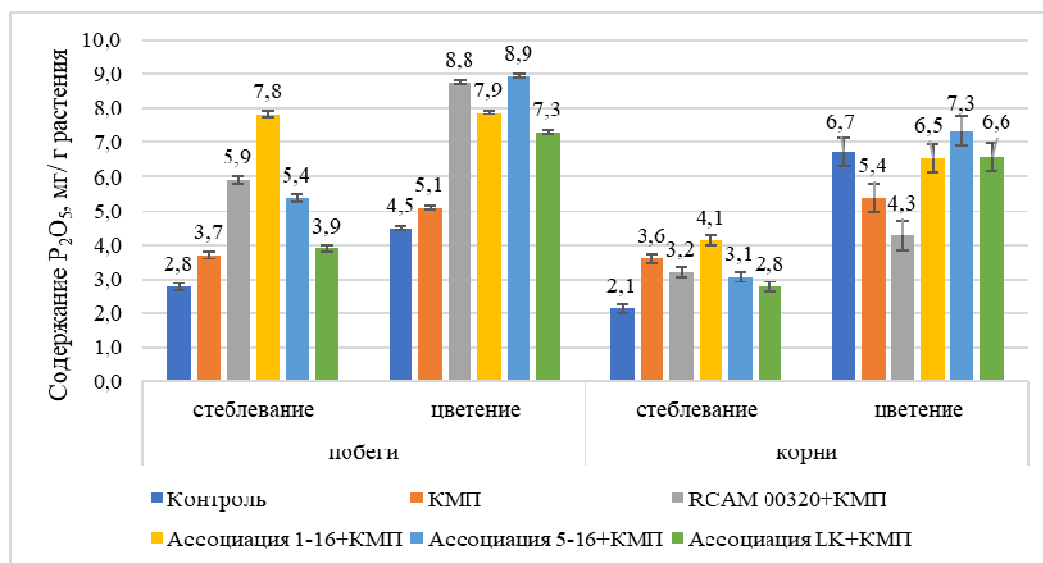


Рис. 4. Влияние бактеризации и микоризации на поступление фосфора в растения кориандра ($p \leq 0,01$)

Таблица 1

Влияние новых ассоциаций на симбиотическую эффективность взаимодействия с кориандром

	Сухая масса побегов, мг/растение		Симбиотическая эффективность к контролю, %		Симбиотическая эффективность к КМП, %	
	стеблевание	цветение	стеблевание	цветение	стеблевание	цветение
Контроль	44,3	65,1				
КМП	40,8	60,8	-7,9	-6,6		
RCAM 00320 +КМП	46,8	72,1	5,7	10,7	14,8	18,6
Ассоциация 1-16 +КМП	44,3	82,4	0,1	26,5	8,7	35,5
Ассоциация 5-16 +КМП	51,5	77,8	16,4	19,4	26,3	27,8
Ассоциация LK +КМП	49,3	77,0	11,4	18,2	21,0	26,5
<i>HCP₀₅</i>	6,3	6,5				

Согласно проведенному корреляционному анализу определено, что показатели развития микоризы взаимно коррелируют друг с другом ($r=0,73-0,98$) (рис. 5). Коэффициенты корреляции в условиях данного эксперимента показывают прямую зависимость между уровнями микоризации и содержанием фосфора в побегах ($r=0,74-0,96$) в обоих фазах учета симбиотической эффективности. Значительной

взаимосвязи с содержанием фосфора в корнях не обнаружено. Масса побегов и симбиотическая эффективность коррелировали как с формированием микоризы, так и с содержанием фосфатов в побегах.

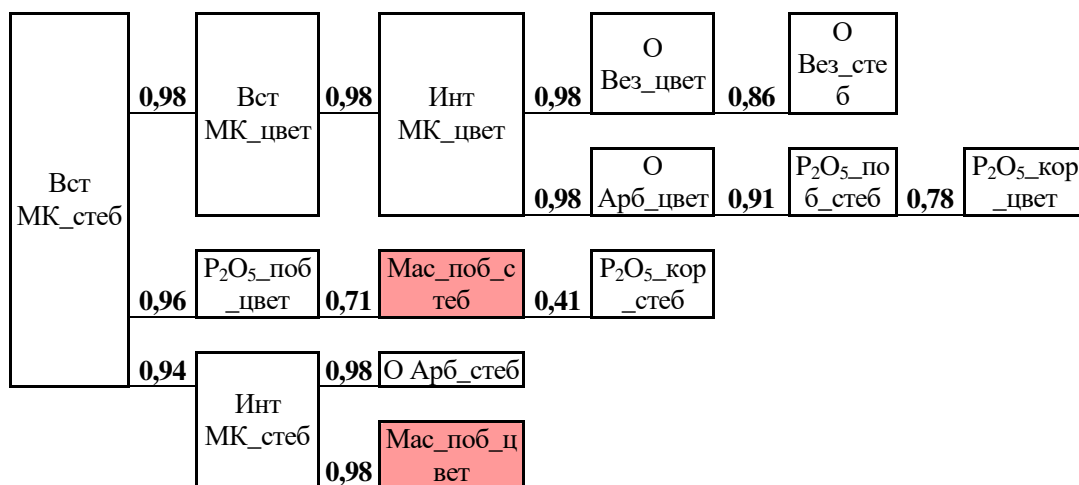


Рис. 5. Граф максимальных коэффициентов корреляции симбиотической эффективности новых ассоциаций грибов АМ при выращивании кориандра посевного.

Примечания: Мас – сухая масса, Вст – встречаемость, Инт – интенсивность, МК – микоризная колонизация, О Арб – обилие арбускул, О Вез – обилие везикул, P₂O₅ – содержание фосфора, поб – побеги, кор – корни, стеб – фаза стеблевания, цвет – фаза цветения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом показано, что за счет формирования интенсивной арбускулярной микоризы и усвоения нерастворимых фосфатов растения кориандра повышают свою продуктивность в симбиозе с комплементарными парами АМ грибов. Выявлено значительное ускорение формирования микоризы у ассоциаций *F. mosseae* 1-16 и *F. mosseae* 5-16 на 5,5–6,7 % и 24,0–41,5% соответственно частоты встречаемости МК и интенсивности МК по сравнению с штаммом-референтом *R. irregularis* RCAM00320. Отмечено, что симбиоз с микоризными усиливает поступление фосфатов в побеги растения на 1,7–4,1 мг (45,9–110,8 %) в фазу стеблевания и 2,2–3,8 мг (43,1–74,5 %) в фазу цветения по сравнению с работой бактерий входящих в состав КПП. Наиболее активной в симбиозе с *C. sativum* была ассоциация 1-16, симбиотическая эффективность которой составила 26,5 % к контролю и 35,5 % к КПП, повысив продуктивность растений в фазу цветения на 17,3 мг. Ассоциаций *F. mosseae* 1-16 будет использована в дальнейших экспериментах и для разработки биопрепарата на ее основе с целью повышения продуктивности растений, в т.ч. кориандра посевного.

Исследование поддержано грантом Российского научного фонда № 23-26-00241

Список литературы

1. Coriander [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.tridge.com/intelligences/coriander/production/> (дата обращения 05.12.2023)
2. FAOSTAT [Электронный ресурс]. – URL: <https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL/> (дата обращения 05.12.2023)
3. Радченко В. А. Культура кориандра в Крыму / В. А. Радченко, И. М. Гачков // Культура народов Причерноморья. – 2008. – № 125. – С. 132–134
4. Тимиргалиева П. Р. Комплексный механизм управления развитием эфиромасличного производства в Республике Крым: монография. / Тимиргалиева П. Р., Паштецкий В. С., Вердыш М. В., Попова А. А., Полякова Н. Ю. – Симферополь : Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2023. – 216 с.
5. Smith S. Mycorrhizal Symbiosis / Smith S., Read D. – Academic Press. – 2008. – 787 p.
6. Schüßler A. A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution / A. Schüßler, D. Schwarzott, C. Walker // Mycology. – 2001. – Vol. 105. – P. 1413–1297.
7. Redecker D. An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) / D. Redecker, A. Schüßler, H. Stockinger // Mycorrhiza. – 2013. – V. 23. – P. 515–531.
8. Bücking H. Common mycorrhizal networks and their effect on the bargaining power of the fungal partner in the arbuscular mycorrhizal symbiosis / Bücking H., Mensah J. A., Fellbaum C. R. // Communicative & Integrative Biology. – 2016. – Vol. 9 (1). – A. e1107684 – <http://dx.doi.org/10.1080/19420889.2015.1107684>.
9. Barea J. M. Azcon-Aguilar C. Microbial cooperation in the rhizosphere / Barea J. M., Pozo M. J., Azcon R. // J Exp. Bot. – 2006. – Vol. 56. – P. 1761–1778.
10. Curaqueo G. Tillage effect on soil organic matter, mycorrhizal hyphae and aggregates in a Mediterranean agroecosystem / Curaqueo G., Acevedo E., Cornejo P., Seguel A., Rubio R., Borie F. // J Soil Sci. Plant. Nut. – 2010. – Vol. 10. – P. 12–21.
11. Mardhiah U. Arbuscular mycorrhizal fungal hyphae reduce soil erosion by surface water flow in a greenhouse experiment / Mardhiah U., Caruso T., Gurnell A., Rillig M. // Appl Soil Ecol. – 2016. – Vol. 99. – P. 137–140.
12. Egerton-Warburton L. M. Common mycorrhizal networks provide a potential pathway for the transfer of hydraulically lifted water between plants / Egerton-Warburton L. M., Querejeta J. I., Allen M. F. // Journal of Experimental Botany. – 2007. – Vol. 58, No. 6. – P. 1473.
13. Khalvati M. A. Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress / Khalvati M. A., Hu Y., Mozafar A., Schmidhalter U. // Plant Biol. – 2005. – Vol. 7. – P. 706–712.
14. Ruth B. Quantification of mycorrhizal water uptake via high-resolution on-line water content sensors / Ruth B., Khalvati M., Schmidhalter U. // Plant Soil. – 2011. – Vol. 342. – P. 459–468.
15. Kikuchi Y. Aquaporin-mediated long-distance polyphosphate translocation directed towards the host in arbuscular mycorrhizal symbiosis: application of virus-induced gene silencing / Kikuchi Y., Hijikata N., Ohtomo R., Handa Y. // New Phytologist. – 2016. – Vol. 211(4). – P. 1202–1208.
16. Chitarra W. Arbuscular mycorrhizal symbiosis-mediated tomato tolerance to drought / Chitarra W., Maserti B., Gambino G., Guerrieri E., Balestrini R. // Plant Signaling & Behavior. – 2016. – Vol. 11 (7). – Article: e1197468. – <http://dx.doi.org/10.1080/15592324.2016.1197468>.
17. Li T. Aquaporin genes GintAQP1 and GintAQP2 from Glomus intraradices contribute to plant drought tolerance / Li T., Hu Y.-J., Hao Z.-P., Li H., Chen B.-D. // Plant Signaling & Behavior. – 2013. – Vol. 8 (5). – e24030. – DOI: 10.4161/psb.24030.
18. Li T. First cloning and characterization of two functional aquaporin genes from an arbuscular mycorrhizal fungus Glomus intraradices / Li T., Hu Y.-J., Hao Z.-P., Li H., Chen B.-D. // New Phytol. – 2013. – Vol. 197. – P. 617–630. – <http://dx.doi.org/10.1111/nph.12011>.
19. Rydlová J. Arbuscular mycorrhiza differentially affects synthesis of essential oils in coriander and dill / Rydlová J., Jelínková M., Dušek K., Dušková E., Vosátka M., Püschel D. // Mycorrhiza. – 2016. – Vol. 26. – P. 123–131.
20. Weisany W. Funneliformis mosseae fungi changed essential oil composition in *Trigonella foenum graecum* L., *Coriandrum sativum* L. and *Nigella sativa* L. / Weisany W., Sohrabi Y., Siosemardeh A.,

- Ghassemi-Golezani K. // Journal of essential oil research. – 2017. – Vol. 29. No 3. – P. 276–287. DOI 10.1080/10412905.2016.1216469
21. Fatemi H. How mycorrhiza symbiosis help coriander (*Coriandrum sativum* L.) plants grow better under contaminated soil? / Fatemi H., Esmailpour B., Sefidkon F., Soltani A. A., Nematollahzadeh A. // Journal of plant nutrition. – 2020. – Vol. 43. – P. 2040–2053. DOI: 10.1080/01904167.2020.1766069
 22. Абдурашитов С. Ф. Вплив мікросимбіонтів на урожайність сої / С. Ф. Абдурашитов // Сільськогосподарська мікробіологія. – 2012. – № 15–16. – С. 29–39. – EDN YSZGJY.
 23. Юрков А. П. Полиморфизм грибов арбускулярной микоризы по симбиотической эффективности с облигатно-микотрофной люцерной хмелевидной / Юрков А. П., Якоби Л. М., Степанова Г. В., Шишова М. Ф. // Биотехнологии в комплексном развитии регионов : материалы международной научно-практической конференции, Москва, 15–17 марта 2016 года. – Москва: Закрытое акционерное общество "Экспо-биохим-технологии", 2016. – С. 57–58. – EDN UIJCAA.
 24. Юрков А. П. Взаимосвязь показателей активности и эффективности штаммов грибов арбускулярной микоризы различного происхождения / А. А. Крюков, Л. М. Якоби, А. П. Кожемяков, М. Ф. Шишова // Таврический вестник аграрной науки. – 2017. – № 4(12). – С. 31–41. – EDN ZXHPQN.
 25. Лабутова Н. М. Методы исследования арбускулярных микоризных грибов / Н. М. Лабутова – СПб.: Инновационный центр защиты растений ВИЗР, 2000. – 24 с.
 26. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта / Доспехов Б. А. – М.: Агропромиздат, 1985. – 352 с.
 27. Сэги Й. Методы почвенной микробиологии / Сэги Й [пер. с венг. И. Ф. Куренного]. – Москва : Колос, 1983. – 296 с.
 28. Лабутова Н. М. Методы исследования арбускулярных микоризных грибов / Н. М. Лабутова – СПб.: Инновационный центр защиты растений ВИЗР, 2000. – 24 с.
 29. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Доспехов Б.А. – М.: Агропромиздат, 1985. – 352 с.
 30. Патент RU № 2528864 С2. Способ экспресс-определения симбиотической эффективности грибов арбускулярной микоризы и индексов микоризации / Юрков А. П.: патентообладатель Юрков А. П.; опубл. 20.09.2014.
 31. Методические рекомендации по использованию граф-анализа в исследованиях систем, состоящих из биотических и абиотических компонентов / Воробьев Н. И., Свиридова О. В., Кутузова Р. С. (2-е издание, переработанное и дополненное) – СПб.: ГНУ ВНИИСХМ. 2006. – 59 с.

SYMBIOTIC EFFICIENCY OF NEW ASSOCIATIONS OF ARBUSCULAR MYCORRHIZA FUNGI IN INTERACTION WITH *CORIANDRUM SATIVUM*

***Abdurashitov S. F.¹, Alekseeva A. I.¹, Gritsevich K. S.¹, Seitadzhieva S. B.¹,
Zubochenko A. A.¹, Yurkov A. P.²***

¹*FSBSI "Research Institute of Agriculture of Crimea", Simferopol, Republic of the Crimea, Russia*

²*ARRIAM, Saint Petersburg, Russia*

E-mail: asuleyman83@rambler.ru

Coriander (*Coriandrum sativum* L.) occupies the largest growing area among essential oil plants in Crimea, whose soils have low reserves of soluble phosphates. It is also known that during the interaction of arbuscular mycorrhiza (AM) fungi and plants, microsymbionts are able to provide the macrosymbiont with hard-to-reach soluble phosphorus nutrients. Therefore, we set the task, under conditions of insufficient supply of soluble phosphates, to analyze the development of various associations of AM fungi in coriander roots and their impact on the symbiotic efficiency and productivity of plants. During the experiments, it was determined that of the 6 new associations of AM fungi, the

best was the association *Funneliformis mosseae* 1-16. The association rapidly formed symbiotic structures compared to the reference strain *Rhizophagus irregularis* RCAM00320 during the stemming phase. The frequency of occurrence of mycorrhizal colonization increased by 6.7 %, the intensity of MC by 41.5 %, the abundance of arbuscules by 48.2 %, and the abundance of vesicles by 16.9 %. A direct relationship was shown between the formation of AM and the phosphorus content in coriander stems for all studied associations of AM fungi. The presence of phosphorus in the roots weakly correlated with the formation of symbiotic structures both in the stemming and flowering phases of plants. Mycorrhizal fungi contributed to an increase in plant productivity (dry weight of shoots) relative to the control by 7.0–17.3 mg. The *F. mosseae* 1-16 association actively colonized coriander roots and supplied additional phosphorus from insoluble fertilizers ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$), and the symbiotic efficiency reached 26.5 % compared to the control and 35.5 % to the CMP in the flowering phase.

Keywords: *Coriandrum sativum*, arbuscular mycorrhiza, symbiotic structures, mycorrhizal colonization, complex of biological products, phosphorus absorption, plant productivity.

References

1. Coriander [Electronic resource]. – URL: <https://www.tridge.com/intelligences/coriander/production/> (accessed 05.12.2023)
2. FAOSTAT [Electronic resource]. – URL: <https://www.fao.org/faostat/ru/#data/QCL/> (accessed 05.12.2023)
3. Radchenko V. A., Gachkov I. M., Culture of coriander in the Crimea, *Culture of the peoples of the Black Sea region*, **125**, 132 (2008).
4. Timirgalieva R. R., Pashetitskiy V. S., Verdysh M. V., Popova A. A., Polyakova N. Yu., *A comprehensive mechanism for managing the development of essential oil production in the Republic of Crimea*, 216 p. (Arial, Simferopol, 2023).
5. Smith S., Read D., *Mycorrhizal Symbiosis*, 787 p. (Academic Press, 2008).
6. Schüßler A., Schwarzott D., Walker C., A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution, *Mycology*, **105**, 1413 (2001).
7. Redecker D., Schüßler A., Stockinger H., An evidence-based consensus for the classification of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota), *Mycorrhiza*, **23**, 515 (2013).
8. Bücking H., Mensah J. A., Fellbaum C. R., Common mycorrhizal networks and their effect on the bargaining power of the fungal partner in the arbuscular mycorrhizal symbiosis, *Communicative & Integrative Biology*, **9**(1) (2016).
9. Barea J. M., Pozo M. J., Azcon R., Azcon-Aguilar C., Microbial cooperation in the rhizosphere, *J Exp. Bot*, **56**, 1761 (2006).
10. Curaqueo G., Acevedo E., Cornejo P., Seguel A., Rubio R., Borie F., Tillage effect on soil organic matter, mycorrhizal hyphae and aggregates in a Mediterranean agroecosystem, *J Soil Sci. Plant. Nut*, **10**, 12 (2010).
11. Mardhiah U., Caruso T., Gurnell A., Rillig M., Arbuscular mycorrhizal fungal hyphae reduce soil erosion by surface water flow in a greenhouse experiment, *Appl Soil Ecol*, **99**, 137 (2016).
12. Egerton-Warburton L. M., Querejeta J. I., Allen M. F., Common mycorrhizal networks provide a potential pathway for the transfer of hydraulically lifted water between plants, *Journal of Experimental Botany*, **58**, **6**, 1473 (2007).
13. Khalvati M. A., Hu Y., Mozafar A., Schmidhalter U., Quantification of water uptake by arbuscular mycorrhizal hyphae and its significance for leaf growth, water relations, and gas exchange of barley subjected to drought stress, *Plant Biol.*, **7**, 706 (2005).

14. Ruth B., Khalvati M., Schmidhalter U., Quantification of mycorrhizal water uptake via high-resolution on-line water content sensors, *Plant Soil*, **342**, 459 (2011).
15. Kikuchi Y., Hijikata N., Ohtomo R., Handa Y., Aquaporin-mediated long-distance polyphosphate translocation directed towards the host in arbuscular mycorrhizal symbiosis: application of virus-induced gene silencing, *New Phytologist*, **211(4)**, 1202 (2016).
16. Chitarra W., Maserti B., Gambino G., Guerrieri E., Balestrini R., Arbuscular mycorrhizal symbiosis-mediated tomato tolerance to drought, *Plant Signaling & Behavior*, **11(7)** (2016).
17. Li T., Hu Y.-J., Hao Z.-P., Li H., Chen B.-D., Aquaporin genes GintAQP1 and GintAQP2 from *Glomus intraradices* contribute to plant drought tolerance, *Plant Signaling & Behavior*, **8(5)** (2013).
18. Li T., Hu Y.-J., Hao Z.-P., Li H., Chen B.-D., First cloning and characterization of two functional aquaporin genes from an arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices*, *New Phytol.*, **197**, 617 (2013).
19. Rydlová J., Jelínková M., Dušek K., Dušková E., Vosátka M., Püschel D., Arbuscular mycorrhiza differentially affects synthesis of essential oils in coriander and dill, *Mycorrhiza*, **26**, 123 (2016).
20. Weisany W., Sohrabi Y., Siosemardeh A., Ghassemi-Golezani K., Funneliformis mosseae fungi changed essential oil composition in *Trigonella foenum graecum* L., *Coriandrum sativum* L. and *Nigella sativa* L., *Journal of essential oil research*, **29 3**, 276 (2017).
21. Fatemi H., Esmailpour B., Sefidkon F., Soltani A. A., Nematollahzadeh A., How mycorrhiza symbiosis help coriander (*Coriandrum sativum* L.) plants grow better under contaminated soil, *Journal of plant nutrition*, **43**, 2040 (2020).
22. Abdurashitov S. F., The influence of microsymbionts on soybean productivity, *Agricultural microbiology*, **15-16**, 29 (2012).
23. Yurkov A. P., Yakobi L. M., Stepanova G. V., Shishova M. F., Polymorphism of fungi of arbuscular mycorrhiza by symbiotic efficacy with obligate-mycotrophic alfalfa hop, *Biotechnologies in the complex development of regions: proceedings of the international scientific and practical conference*, (Moscow, 2016).
24. Yurkov A. P., Kryukov A. A., Yakobi L. M., Kozhemyakov A. P., Shishova M. F., Interrelation of indicators of activity and effectiveness of strains of fungi of arbuscular mycorrhiza of various origins, *Tauride Bulletin of Agrarian Science*, **4(12)**, 31 (2017).
25. Labutova N. M., *Methods of research of arbuscular mycorrhizal fungi*, 24 p. (VIZR, St. Petersburg, 2000).
26. Dospekhov B. A., *Methodology of field experience*, 352 p. (Agropromizdat, Moscow, 1985).
27. Sagi Y., *Methods of soil microbiology*, 296 p. (Kolos, Moscow, 1983).
28. Labutova N. M., *Methods of research of arbuscular mycorrhizal fungi*, 24 p. (VIZR, St. Petersburg, 2000).
29. Dospekhov B. A., *Methodology of field experience*, 352 p. (Agropromizdat, Moscow, 1985).
30. Patent RU No. 2528864 C2. A method for express determination of the symbiotic effectiveness of arbuscular mycorrhiza fungi and mycorrhization indices / Yurkov A. P.: patent holder Yurkov A. P.; publ. 09/20/2014.
31. Vorobyov N. I., Sviridova O. V., Kutuzova R. S., *Methodological recommendations on the use of graph analysis in the research of systems consisting of biotic and abiotic components*, 59 p. (ARRIAM, St. Petersburg, 2006).