

УДК 57.069.4:582.263

С.А. Джокебаева\*, А.А. Ташенова, С.Б. Оразова,  
Б.К. Касымбеков, Д.Г. Фалеев

Научно-исследовательский институт проблем экологии, Казахстан, г. Алматы

\*E-mail: Saule.Jokebayeva@kaznu.kz

**Подбор альго-микобионтов и создание ассоциативных систем  
для повышения продуктивности растений и восстановления деградированных почв**

Микориза может быть использована для рекультивации деградированных почв и повышения продуктивности и устойчивости растений к неблагоприятным факторам окружающей среды. Для повышения эффективности микоризации проведен подбор видов микроводорослей и микоризных грибов, которыми в двухкомпонентной ассоциации инокулировали горшечные растения томата. По данным содержания пигментов, белка в листьях, активности фосфатазы у томатов определены виды микроводорослей, которые вместе с микоризными грибами способствуют значительному увеличению изучаемых показателей.

**Ключевые слова:** микоризация, микроводоросли, томаты, пигменты, фосфатаза

С.Ә. Жөкебаева, А.А. Ташенова, С.Б. Оразова, Б.Қ. Қасымбеков, Д.Г. Фалеев

**Альго-микобионттарды талдау және өсімдіктердің өнімділігін жоғарылататын  
және азғындалған топырақтарды қалпына келтіретін ассоциативті жүйелерді жасау**

Азғындалған топырақты қалпына келтіру және қоршаған ортаның қолайсыз факторларына өсімдіктердің төзімділігін арттыру мақсатында микоризаны пайдалануға болады. Микоризалаудың тиімділігін жоғарылату үшін микробалдырлар мен микоризалы саңырауқұлақтар түрлерін зертханалық жағдайда өсетін қызанақ өсімдіктеріне инокуляцияланды. Қызанақ өсімдіктерінің жапырақтарындағы пигменттер мен белок мөлшері қыш-қылдық және сілтілік фосфатазаның белсенділігіне қарай, микоризалы саңырауқұлақтармен бірге зерттелген көрсеткіштердің жоғарылататын микробалдырлардың түрлері анықталды.

**Түйін сөздер:** микоризалау, микробалдырлар, қызанақ, пигменттер, фосфатаза.

S.A. Dzhokebaeva, A.A. Tashenova, S.B. Orazova, B.K. Kasymbekov, D.G. Faleev

**Selection of algo- mycobionts and creating of associative systems to improve plant productivity  
and recovery of degraded soils**

Mycorrhiza can be used for reclamation of degraded soils and increase of efficiency and tolerance of plants to unfavorable factors of the environment. It was selected species of microalgae and mycorrhizal fungi to increase the efficiency of mycorrhiza, which inoculated to tomato plants in laboratory conditions. According to the content of pigments, protein in the leaves, activity of acid and alkaline phosphatase in tomato plants was identified species of microalgae, which together with mycorrhizal fungi contribute to a significant increase in the studied parameters.

**Keywords:** mycorrhiza, microalgae, tomatoes, pigments, phosphatase

Основная масса территории Казахстана характеризуется малоплодородными почвами с преобладанием супесчано-суглинистого ме-

ханического состава. Большинство почв мало устойчивы к антропогенным нарушениям [1]. Интенсификация использования природных ре-

сурсов и экстенсивные технологии земледелия привели к загрязнению токсическими отходами, деградации, опустыниванию и засолению больше половины земель в республике [2]. В результате деградации почвы и истощения ее ресурсов возделываемые сельскохозяйственные культуры в большинстве своем имеют низкую продуктивность и характеризуются слабой устойчивостью к действию абиогенных и биогенных факторов.

Одним из способов восстановления плодородия за счет повышения биологической активности почв является использование микоризы [3]. «Микориза» (греч.  $\mu\acute{\iota}\kappa\omicron\rho\eta\varsigma$  – гриб и  $\rho\acute{\iota}\zeta\alpha$  – корень, грибокорень) представляет собой симбиотическую ассоциацию специфических грибов и молодых тонких корней высших растений. Известно семь типов микориз, среди которых наибольшее распространение имеют эндомикориза и эктомикориза [4]. Известно, что более 85% всех растений способны к симбиотическим взаимоотношениям с грибами с образованием эндомикоризы. Это, в основном, травянистые растения, большинство декоративных кустарников, фруктовые и ореховые деревья, и др. Эктомикориза колонизирует около 10% растений, к которым относятся пихты и сосны, лиственные породы деревьев типа березы, бука, эвкалипта, дуба, ивы и магнолии [5]. Один из видов эндомикоризных ассоциаций, арбускулярная микориза (АМ), оказывает разностороннее влияние на растение-хозяина: усиливает рост, ускоряет развитие, повышает устойчивость к неблагоприятным факторам окружающей среды как отдельных экземпляров микотрофных растений, так и фитоценозов [6]. Ассоциации растений с микоризными грибами могут значительно активизировать микробиологическую активность почв посредством выделения органических соединений, в результате чего повышается доступность для растений элементов минерального питания. АМ грибы могут прямо или косвенно содействовать улучшению динамики почвенного углерода и азота. Активность АМ грибов в микоризосфере растений может быть источником различных ферментов, необходимых для биохимических реакций. Имеются сведения о том, что активность почвенных ферментов, таких, как фосфатазы, дегидрогеназы, возрастала после инокуляции АМ грибов [7]. Очень небольшой процент почвенного фосфора находится в лабильной и средне-лабильной органической форме. Внесение микоризы приводит

к количественным и качественным изменениям микробной популяции в ризосфере. Совокупная активность в почве кислой и щелочной фосфатаз, продуцируемых как ризосферной микрофлорой, так и микоризованными корнями, переводит недоступный органический фосфор в неорганическую, доступную для растений его форму [8, 9]. Поскольку эндомикоризные грибы весьма активно поглощают воду, они могут не только улучшать эффективность всасывания питательных веществ (способствуя поглощению растениями слабоподвижных элементов: цинка, марганца, меди), но и защищать растение от обезвоживания. Микоризные растения также более устойчивы к засолению почв и корневым болезням [10-12].

Следует отметить, что мицелий микоризных грибов располагается не только в корнях растений-хозяев, но значительная его часть находится также вне корня, распространяясь при помощи удлиняющихся гиф на большие расстояния. Внекорневой микоризный мицелий является частью симбиоза, которая наиболее тесно связана с почвенными частицами и оказывает мощное влияние на биогеохимические циклы, состав растительных сообществ и функционирование экосистем. Сеть, образуемая микоризным мицелием в почве, представляет наиболее динамичную и наиболее функционально разнообразную составляющую симбиоза. Имеются сведения о том, что корневые системы растений связываются друг с другом посредством гиф эндомикоризных грибов. При необходимости питательные вещества из одного растения такой сети перемещаются в другое (нуждающееся в поддержке) растение. На функциональную важность экстракорневого мицелия указывают последние данные, показывающие, что он получает от растения-хозяина около 10 и более процентов продуктов чистого фотосинтеза. Часто внекорневой мицелий составляет от 20 до 30% микробной биомассы почвы, но не выявляется стандартными методами [13]. Микоризный симбиоз улучшает структуру почвы. Эндомикоризные гифы связывают микроагрегаты физически с помощью почвенных гиф, а также выделяют полисахариды, к которым прикрепляются микроагрегаты. Известно, что структурированная почва хорошо удерживает влагу и проницаема для воздуха. В свете выше изложенного для рекультивации де-

градированных и обедненных почв микоризация имеет особо важное значение.

Эффективность инокуляции почв микоризными грибами с одновременным посевом семян в полевых условиях может быть снижена за счет различного, иногда длительного, периода приобретения растениями отзывчивости к микоризации и потерей спорами АМ грибов жизнеспособности. АМ является облигатным биотрофом, при прорастании гиф они должны внедриться в тонкие корни молодых растений, у которых имеются настоящие листья для осуществления фотосинтеза. Если при прорастании у гиф микоризных грибов не возникнет контакта с корнями растений, они погибают.

Для улучшения выживаемости микоризных грибов и повышения степени инокуляции ими растений можно использовать не только ассоциации грибов с растениями, но и с водорослями. В природе водоросли и грибы неразрывно связаны, создавая ассоциации со всевозможными типами биотических взаимоотношений. Использование мутуалистических взаимовлияний видов микроводорослей с грибами даст стимуляцию роста микокомпонента посредством метаболитов, продуцируемых альгокомпонентом. Сохранение в почве достаточного количества жизнеспособных микоризных грибов к моменту образования настоящих листьев у растений-хозяев сделает успешным процесс инокуляции.

Целью данного исследования являлся подбор видов водорослей и микоризных грибов для

создания альго-микобионтной ассоциации, способной оказать положительное влияние на рост растений-хозяев.

В опытах использованы горшечные растения томата сорта Red Cherry, культивированные в лабораторных условиях. В качестве микокомпонента отобраны 3 вида грибов рода *Glomus* (*G. etunicatum*, *G. intraradices*, *G. claroideum*), которые использовались в виде инокуляционной смеси. Для выявления подходящего альгокомпонента использованы 11 видов синезеленых водорослей (цианобактерий): *Anabaenopsis sp.* (штамм Т1), *Anabaena laxa*, *Anabaena sp.* (К), *Pseudoanabaena sp.*, *Amorphonostoc paludosum*, *Sphaerostoc coeruleum*, D1a, *Calothrix sp.*, *Sph. Zetterstedtii*, *Anabaenopsis sp.* (D6), *An. constricta*. Горшечные растения томата выращивали на предварительно простерилизованной смеси, состоящей из песка, вермикулита и перлита (1:1:1) с внесением в опытные варианты равных количеств по массе простерилизованных соответствующим образом инокулятов грибов и водорослей. В контрольный вариант добавляли только инокулят микоризных грибов. Растения томата выращивали в течение 60 дней. В конце опыта определяли содержание пигментов [14] и белка в листьях [15], активность кислой фосфатазы в корнях [16].

Многими ранее проведенными исследованиями установлен факт повышения содержания пигментов фотосинтеза в микоризованных растениях [17]. В наших опытах по совместной инокуляции микоризными грибами и водорослями

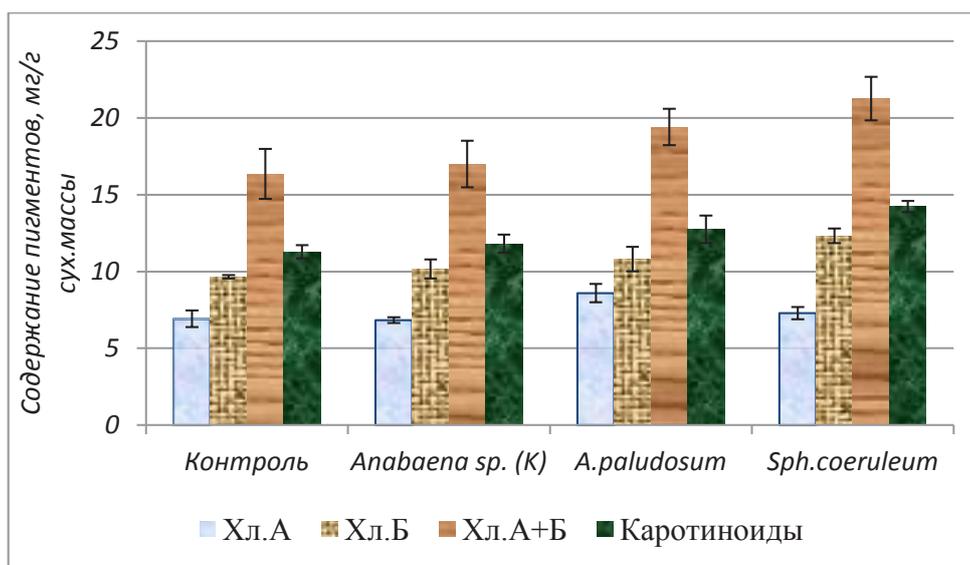


Рисунок 1 – Содержание пигментов в листьях томата при инокуляции микоризными грибами и водорослями.

установлено, что почти во всех опытных вариантах возрастало содержание хлорофилла А, кроме *Pseudoanabaena sp.*, где произошло снижение количества пигмента по сравнению с контролем (инокуляция только микоризными грибами) на 38,4%. На рисунке 1 представлены данные вариантов, показавших наибольшее содержание пигментов. Так, значительное накопление хлорофилла А определено при инокуляции *Amorphonostoc paludosum* с превышением контрольного значения на 24,2%. В варианте с внесением *Sph. coeruleum* определена наибольшая сумма хлорофиллов А и В, а также наибольшее содержание каротиноидов, составляющее превышение контрольных значений на 30 и 26%, соответственно, что позволяет предположить интенсификацию процессов фотосинтеза.

Накопление белковых веществ в листьях томата также может свидетельствовать о повышении интенсивности фотосинтеза, имея в виду, что скорость световых и темновых реакций контролируется множеством специфических ферментов. На рисунке 2 представлены данные по вариантам, характеризовавшимся наибольшим накоплением белка в листьях. Максимальное накопление белка определено в варианте с внесением вместе с микоризой микроводоросли *Sph. coeruleum*. В варианте, где в инокуляционную смесь внесена микроводоросль *Anabaena sp.* (К), превышение количества белка в листьях по сравнению

с контролем, где внесена только микориза, составляет 55,5%. Схожее влияние, вероятно, оказывает и *A. paludosum*, так как разница между этими вариантами статистически не достоверна.

При определении кислой фосфатазы в корнях томатов, инокулированных микоризными грибами и микроводорослями установлено возрастание ферментативной активности в опытных вариантах. Так, *A. paludosum* повышал активность кислой фосфатазы в 1,9 раза, а *Sph. coeruleum* – в семь раз.

Таким образом, прослеживается положительное влияние внесения микроводорослей одновременно с инокуляцией микоризы на ростовые процессы томата. Наблюдается значительное повышение содержания хлорофиллов и каротиноидов, белка в листьях и возрастание активности кислой фосфатазы в корнях томатов в вариантах с внесением *Sph. coeruleum* по сравнению с контролем, где была инокулирована только микориза. Другие виды микроводорослей так же оказывали положительное влияние, но несколько в меньшей степени. Стимуляцию водорослями повышения изучаемых показателей можно объяснить их способностью к синтезу и выделению в окружающую среду разнообразных биологически активных соединений, которые ускоряют как прорастание спор микоризных грибов, так и рост растений.

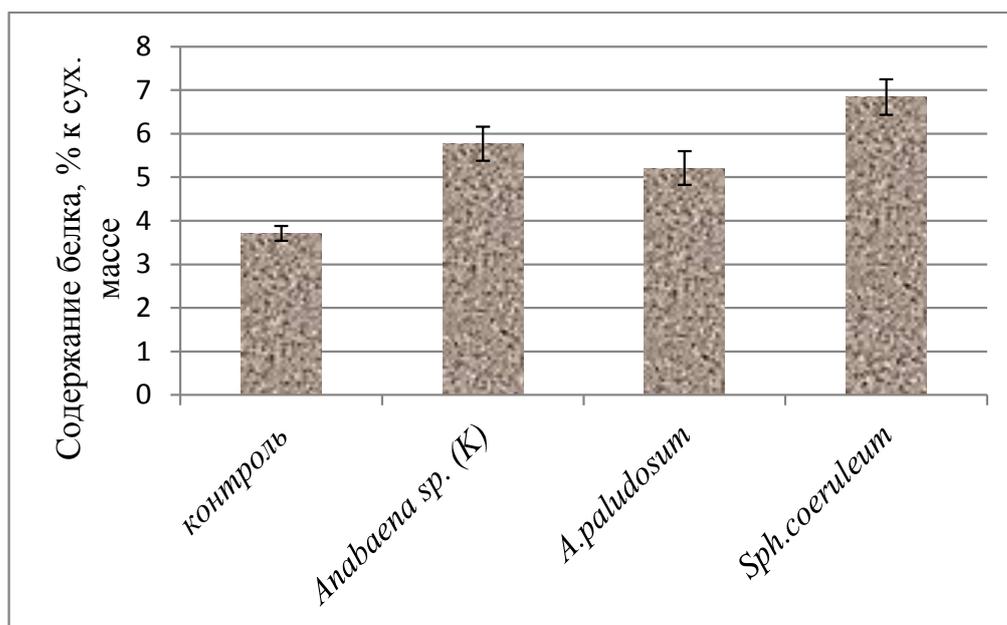


Рисунок 2 – Содержание белка в листьях томата при инокуляции микоризными грибами и водорослями

## Литература

- 1 Горбунова И.А., Герасимова М.И., Богданова М.Д., Никитина О.А. Карта деградации почв Казахстана //Геохимия ландшафтов и география почв: Доклады Всероссийской научн. конф. - М.: МГУ.- 2012.- С. 89-90.
- 2 Валиханова А., Белый А., Павличенко Л. и др. Тематический обзор: Опустынивание/деградация земель. – Астана, 2005. - 88 с.
- 3 Kahiluot H., Vestberg M. Impact of cropping system on Mycorrhiza //http://orgprints.org.4065.
- 4 Brundrett M. Diversity and classification of mycorrhizal associations // Biol. Rev. - 2004. - 79. - Pp. 473–495.
- 5 Davis Fred T.J. Benefits and Opportunities with Mycorrhizal Fungi in Nursery Propagation and Production Systems//Combined Proceedings International Plant Propagators' Society.- 2000.- Volume 50.-Pp.482-489.
- 6 Юрков А. П., Якоби Л. М., Кожемяков А. П., Шишова М. Ф. Влияние арбускулярной микоризы на рост и развитие быстрорастущей на микоризацию линии люцерны хмелевидной (*Medicago lupulina* L.) // Вестник С-Петербургского университета.- Серия 3, Биология.- 2009.-Вып.2.-С.138-144.
- 7 Kothari, S.K., Marschner, H., Romheld, V. Direct and indirect effects of VA mycorrhizae and rhizosphere microorganisms on mineral nutrient acquisition by maize (*Zea mays* L.) in a calcareous soil.// New phytol.- 1990.- 116.- Pp. 637-645.
- 8 Dubey K. K., Fulekar M.H. Mycorrhizosphere development and management: The role of nutrients, micro-organisms and bio-chemical activities // Agric. Biol. J. N. Am. – 2011.- 2(2).- Pp.315-324.
- 9 Chethan Kumar K.V., Chandrashekar K.R., Lakshmiathy R. Variation in Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Phosphatase Activity Associated with *Sida cardifolia* in Karnataka//World Journal of Agricultural Sciences.- 2008.-4 (6).- Pp. 770-774.
- 10 Cantrell I.C., Linderman R.G. Preinoculation of lettuce and onion with VA mycorrhizal fungi reduces deleterious effects of soil salinity//Plant and Soil.- 2001.-233.-Pp. 269–281.
- 11 Cordier C., Gianinazzi S., Gianinazzi-Pearson V. Colonization patterns of root tissues by *Phytophthora nicotianae* var. *parasitica* related to reduced disease in mycorrhizal tomato // Plant and Soil.- 1996.-Volume 185.- N 2.- Pp. 223 – 232.
- 12 Wehner J., et al., Plant pathogen protection by arbuscular mycorrhizas: A role for fungal diversity?// Pedobiologia .-2009.-Pp.1-5. (doi:10.1016/j.pedobi.2009.10.002)
- 13 Jonathan Leake, David Johnson, Damian Donnelly, et al. Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning // Can. J. Bot. -2004.- 82.-Pp. 1016–1045.
- 14 Гавриленко В.Ф., Жигалова Т.В. Большой практикум по фотосинтезу.- М.: Академия, 2003.- 256 с.
- 15 Практикум по биохимии.-Изд-е 2-ое.- М.: Изд-во МГУ, 1989.- С.80-82.
- 16 Ермаков А.И., Арасимович В.В., Смирнова-Иконникова М.И. и др. Методы биохимического исследования растений. - Л.: Колос, 1972.- С.70.
- 17 Al-Qarawi A.A., Alshahrani T. S. Growth Response of Two Species of *Zizyphus* to Inoculation with Arbuscular Mycorrhizal Fungi // JKAU: Met., Env. & Arid Land Agric. Sci.- 2010.-Vol. 21- No.1- Pp. 109-122.

## References

- 1 Gorbunova I.A., Gerasimova M.I., Bogdanova M.D., Nikitina O.A. Karta degradacii pochv Kazahstana //Geohimija landshaftov i geografija pochv: Doklady Vserossijskoj nauchn. konf. - М.:MGU.- 2012.-S. 89-90.
- 2 Valihanova A., Belyj A., Pavlichenko L. i dr. Tematicheskij obzor: Opustynivanie/degradacija zemel'. –Astana, 2005. - 88 s.
- 3 Kahiluot H., Vestberg M. Impact of cropping system on Mycorrhiza //http://orgprints.org.4065.
- 4 Brundrett M. Diversity and classification of mycorrhizal associations // Biol. Rev.- 2004. - 79. - pp. 473–495.

5 Davis Fred T.J. Benefits and Opportunities with Mycorrhizal Fungi in Nursery Propagation and Production Systems//Combined Proceedings International Plant Propagators' Society.- 2000.- Volume 50.-Pp.482-489.

6 Jurkov A. P., Jakobi L. M., Kozhemjakov A. P., Shishova M. F. Vlijanje arbuskuljarnej mikorizy na rost i razvitie bystrootzyvchivoj na mikorizaciju linii ljucerny hmelevidnoj (Medicago lupulina l.) // Vestnik S-Peterburgskogo universiteta.- Serija 3, Biologija.- 2009.-Vyp.2.-S.138-144.

7 Kothari, S.K., Marschner, H., Romheld, V. Direct and indirect effects of VA mycorrhizae and rhizosphere microorganisms on mineral nutrient acquisition by maize (*Zea mays* L.) in a calca-reous soil.// New phytol.- 1990.- 116.- Pp. 637-645.

8 Dubey K. K., Fulekar M.H. Mycorrhizosphere development and management: The role of nutrients, micro-organisms and bio-chemical activities // Agric. Biol. J. N. Am. – 2011.- 2(2).- Pp.315-324.

9 Chethan Kumar K.V., Chandrashekar K.R., Lakshmipathy R. Variation in Arbuscular My-corrhizal Fungi and Phosphatase Activity Associated with *Sida cardifolia* in Karnataka//World Journal of Agricultural Sciences.- 2008.-4 (6).- Pp. 770-774.

10 Cantrell I.C., Linderman R.G. Preinoculation of lettuce and onion with VA mycorrhizal fungi reduces deleterious effects of soil salinity//Plant and Soil.- 2001.-233.-Pp. 269–281.

11 Cordier C., Gianinazzi S., Gianinazzi-Pearson V. Colonization patterns of root tissues by *Phytophthora nicotianae* var. *parasitica* related to reduced disease in mycorrhizal tomato // Plant and Soil.- 1996.-Volume 185.- N 2.- Pp. 223 – 232.

12 Wehner J., et al., Plant pathogen protection by arbuscular mycorrhizas: A role for fungal diversity?// Pedobiologia .-2009.-Pp.1-5. (doi:10.1016/j.pedobi.2009.10.002)

13 Jonathan Leake, David Johnson, Damian Donnelly, et al. Networks of power and influence: the role of mycorrhizal mycelium in controlling plant communities and agroecosystem functioning // Can. J. Bot. -2004.- 82.-Rr. 1016–1045.

14 Gavrilenko V.F., Zhigalova T.V. Bol'shoj praktikum po fotosintezu.- M.: Akademija, 2003.- 256 s.

15 Praktikum po biohimii.-Izd-e 2-oe.- M.:Izd-vo MGU, 1989.- S.80-82.

16 Ermakov A.I., Arasimovich V.V., Smirnova-Ikonnikova M.I. i dr. Metody biohi-micheskogo issledovanija rastenij.-L.:Kolos, 1972.-S.70.

17 Al-Qarawi A.A., Alshahrani T. S. Growth Response of Two Species of *Zizyphus* to Inoculation with Arbuscular Mycorrhizal Fungi // JKAU: Met., Env. & Arid Land Agric. Sci.- 2010.-Vol. 21- No.1- Rp. 109-122