

УДК 631.8:633.11:635.656

ВЛИЯНИЕ БИОУДОБРЕНИЯ НА ОСНОВЕ МИКОРИЗНЫХ ГРИБОВ НА РОСТ И МИКОРИЗАЦИЮ КОРНЕЙ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ

Курамшина З.М., Свиридова К.В.

Стерлитамакский филиал ФГБОУ ВО «Башкирский государственный университет»,
Стерлитамак, e-mail: kuramshina_zilya@mail.ru

Исследовано влияние биоудобрения «Кормилица Микориза» на рост и формирование арбускулярной микоризы культурных растений (пшеница мягкая, горох посевной, лук репчатый). Показано, что биопрепарат на основе микоризных грибов, состоящий из мицелия и спор гриба рода *Glomus*, колонизированных фрагментов корней, торфа, увеличивал рост и формирование эндомикоризы исследованных растений, однако стимулирующий эффект биопрепарата по-разному проявлялся у растений. У *Triticum aestivum* L. положительный эффект препарата был сильнее выражен на побегах, чем корнях. У *Pisum sativum* L. лучше стимулировался рост корней, чем побегов. У *Allium cepa* L. стимуляция роста корня и побега была практически одинакова. Биомасса растений пшеницы, гороха и лука, выросших в почве с добавлением биопрепарата, была выше на 8, 4,2 и 2,6%, чем у контрольных растений. Внесение биопрепарата на основе микоризных грибов способствовало повышению показателей микоризации. У всех исследованных растений был выявлен высокий показатель частоты микоризации корневой системы, однако интенсивность и количество арбускул были низкие. Биопрепарат «Кормилица Микориза» рекомендован для разных растений, однако эффект действия препарата может зависеть от вида растения. Наиболее отзывчивой культурой на внесение препарата в среду выращивания оказалась пшеница. Недостаточно изученным остается вопрос о взаимодействии микоризных грибов с разными видами растений, уже имеющими свои эндосимбиозы. Эти результаты подтверждают необходимость проведения дальнейших исследований для получения более эффективных биопрепаратов. При создании биопрепаратов для растений необходимо понимать механизмы, а также знать условия, которые могут повлиять на микоризацию растений.

Ключевые слова: растения, биопрепарат, рост, биомасса, микоризная инфекция

EFFECT OF BIOFERTILIZER WITH MYCORRHIZAL FUNGI ON PLANT GROWTH AND THE MYCORRHIZATION OF CROP PLANTS

Kuramshina Z.M., Sviridova K.V.

Sterlitamak branch of Bashkir State University, Sterlitamak, e-mail: kuramshina_zilya@mail.ru

The effect of the biofertilizer «Wet nurse Mycorrhiza» on the growth and on the mycorrhization crop roots (wheat, pea, onions). It was shown that biofertilizer, which consists of mycorrhizal fungi, mycelium and spores of the fungus of the genus *Glomus*, peat has a positive effect on the growth and formation of endomycorrhiza of the studied plants; however, the stimulating effect of that biofertilizer manifested itself in different ways in plants. The positive effect of biofertilization was more pronounced on the shoots than on the roots of *Triticum aestivum* L. The roots were better stimulated than the shoots of *Pisum sativum* L. The root and shoot of the plants *Allium cepa* L., were stimulated in almost the same way. The biomass of wheat, pea, and onion plants grown in soil with the addition of a biofertilizer was 8%, 4.2%, and 2.6% higher, respectively, compared to control plants. Biofertilization increased the rates of mycorrhization of roots. The indicator of the frequency of mycorrhization of the root system was very high with the use of biofertilizer, however, the indicators of the intensity of mycorrhization and the abundance of arbuscules were low in all studied plants. Biofertilizer is recommended for a wide range of plants, but the type of plant can determine the effect of the drug. Wheat was a more responsive crop to biofertilizing the growing medium. The question of the interaction of mycorrhizal fungi with different plant species that already have their own endophytic symbiosis (AMG) remains insufficiently studied. These results confirm the need for further research to obtain more effective biofertilizers. Biofertilizers for plant growing based on mycorrhizal fungi should be developed with an understanding of the mechanisms and conditions that affect the process of colonization of roots of various plants by microorganisms.

Keywords: crop roots, biofertilizer, growth, biomass, mycorrhization

В середине двадцатого века сельское хозяйство начало радикально меняться и перешло от крестьянского земледелия к более интенсивным методам ведения хозяйства, которые направлены на максимальное увеличение урожайности с определенного участка земли. Такой высокий уровень урожайности достигается за счет использования удобрений и пестицидов, уменьшающих гниение почвы. Однако непрерывное возделывание одно-

го и того же участка земли из года в год приводит к снижению плодородия почвы, так что даже при применении химических неорганических удобрений мало что можно получить взамен [1]. Использование химических удобрений ослабляет корни растений, делая их восприимчивыми к нежелательным заболеваниям, вызывает загрязнение воздуха и грунтовых вод [2]. В связи с этим для обеспечения биобезопасности в последнее время были

предприняты попытки получения биоудобрений, которые признаны альтернативой химическим удобрениям для повышения плодородия почвы и повышения урожайности в условиях устойчивого земледелия. Биоудобрения – это продукты, содержащие живые клетки различных микроорганизмов, которые обладают способностью преобразовывать важные для питания элементы из недоступной для растений формы в доступную посредством биологических процессов. Обычно от 60% до 90% общего количества внесенных удобрений теряется, и только оставшиеся 10-40% усваиваются растениями. Эти потенциальные биологические удобрения должны сыграть ключевую роль в продуктивности и устойчивости почвы, а также в защите окружающей среды. Органическое земледелие – одна из таких стратегий, которая не только обеспечивает безопасность пищевых продуктов, но и увеличивает биоразнообразие почвы. Биоудобрения, применяемые в качестве инокулянтов для семян или почвы, участвуют в круговороте питательных веществ и приводят к урожайности сельскохозяйственных культур [3].

Применение полезных микроорганизмов в сельскохозяйственной практике доказало, что полезные микробы также могут повышать устойчивость растений к неблагоприятным воздействиям окружающей среды (дефицит воды и питательных веществ, загрязнение тяжелыми металлами и др.). Следовательно, биоудобрения могут быть важным компонентом интегрированных питательных веществ, системы управления для поддержания продуктивности сельского хозяйства и здоровой окружающей среды [4].

Таким образом, сегодня традиционные методы ведения сельского хозяйства превращаются в агроэкологические методы, которые лучше учитывают биологические механизмы и сохраняют экосистемы. Агроэкология пропагандирует методы ведения сельского хозяйства с помощью различных почвенных микроорганизмов, одними из которых являются арбускулярные микоризные грибы (АМГ). АМГ являются наиболее распространенными грибами-симбионтами корней растений и важным экологическим партнером в агроэкосистемах. Они считаются ключевыми организмами в экосистемах, так как способствуют усвоению и переносу минеральных питательных веществ, таких как фосфор,

азот, сера, калий, кальций, медь и цинк, из почвы в растения [5]. Однако, несмотря на то что микоризные грибы образуют симбиоз с большинством видов растений, хорошо известно, что ответы на инокуляцию АМГ сильно различаются у разных видов растений и даже сорта в пределах одного вида [6]. Поэтому необходимо тщательное изучение механизмов взаимодействия грибов и растений для получения максимального взаимовыгодного сотрудничества микро- и макроорганизмов.

Цель данной работы заключалась в определении влияния препарата на основе микоризных грибов «Кормилица Микориза» на рост и микоризацию различных культурных растений и определение их отзывчивости.

Материалы и методы исследования

Объектами исследования служили: пшеница (*Triticum aestivum* L., сорт Омская 35), горох посевной (*Pisum sativum* L., сорт Чижминский 95), лук репчатый (*Allium cepa* L., сорт Штутгартер Ризен). В работе использовали биопрепарат «Кормилица Микориза» (ООО НВП «БашИнком», состоящий из мицелия и спор гриба рода *Glomus*, колонизированных фрагментов корней, торфа).

Для выращивания растений использовали чернозем, который предварительно подготавливали (убирали посторонние корни, дробили крупные комки почвы). Далее почву помещали в пластиковые сосуды. Для этого вначале насыпали часть почвы и раскладывали семена, затем засыпали остатком почвы слоем 1-1,5 см. Затем почву поливали из расчета достижения 70% от полной полевой влагоемкости (ППВ).

В контрольных вариантах семена вносили в почву без удобрения. В вариантах опыта перед посевом биоудобрение раскладывали на поверхность почвы (6 г на 1 кв. м) и перемешивали. Нестерилизованные семена высевали в вегетационные сосуды в трехкратной повторности. Растения выращивали в течение 30 дней, затем растения осторожно удаляли из почвы вместе с корневой системой. Корни растений удаляли, промывали их, с помощью фильтровальной бумаги удаляли избыток влаги, затем взвешивали. Корни анализировали гистохимическим анализом и проводили учет показателей микоризации по методу Травло [7]. Корни очищали в 10%-ном KOH, промывали затем HCl (2%-ным раствором) и окрашивали с применением красителя трипанового синего. Окрашенные

корни анализировали при помощи световой микроскопии и рассчитывали показатели микоризной инфекции. Опыт был проведен в трехкратной повторности. У растений в каждом повторении определяли показатели микоризации и среди значений трех повторений выводили среднее. С помощью стандартных программ пакета Microsoft Excel проводили статистическую обработку результатов. В тексте работы в таблицах представлены данные среднего арифметического значения и стандартное отклонение. Для расчета применяли t-критерий Стьюдента с целью выявления различий между растениями, выращенными с применением и без применения препарата. Между вариантами контроля и опыта различия как достоверные оценивали при $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

Нами было установлено в результате проведенных исследований, что внесение препарата «Кормилица Микориза» в почву способствовало увеличению роста всех исследованных растений (табл. 1).

Стимулирующий эффект биопрепарата по-разному проявлялся у исследованных растений. У *Triticum aestivum* L. положительный эффект биопрепарата был сильнее выражен на побегах, чем корнях. Так, при выращивании пшеницы в почве с добавлением биопрепарата длина побегов и корней растений была больше на 24.4% и 16.2% соответственно, чем у контрольных растений. У *Pisum sativum* L. под действием биопрепарата лучше стимулировался рост корней, чем побегов (на 41.2% и 17.4% соответственно, по сравнению с растениями, выросшими без внесения биопрепарата). У *Allium cepa* L. стимуляция роста корня

и побега была практически одинакова (побеги увеличились на 23.3%, корни на 22.3%, по сравнению с контролем).

Биомасса культурных растений после внесения биопрепарата «Кормилица Микориза» также увеличилась (табл. 2). Биомасса растений пшеницы, гороха и лука, выросших в почве с добавлением биопрепарата, была на 8, 4.2 и 2.6% выше, соответственно, по сравнению с контрольными растениями.

Полученные нами данные хорошо согласуются с литературными, так как известно, что применение арбускулярной микоризы в качестве биоудобрения может увеличивать рост и продуктивность растений за счет усиления поглощения относительно неподвижных элементов в почве, таких как фосфор, медь и цинк, а также благодаря значительному расширению области поглощения воды [8; 9]. Микориза считается симбиозом между мицелием грибов и корнями растений. Это взаимодействие за годы эволюции стало сильным, и растения и грибы – жизненно необходимы друг другу, так как корневая система растений поставляет грибам аминокислоты, гормоны, углеводы, а взамен от грибов получает воду, макро- и микроэлементы, в том числе и фосфор. Корневая система растения значительно меньше, в отличие от образуемых микоризными грибами гиф, которые вступают в контакт с ними, и благодаря чему растение получает много питательных веществ и воды. АМГ, за счет увеличения поглощения фосфора и других питательных веществ, способствуют усилению фотосинтеза, смягчают стресс окружающей среды, улучшают фиксацию азота, увеличивают рост и урожайность растений. Значение микоризы особенно велико на бедных почвах [9; 10].

Таблица 1

Влияние биопрепарата на длину корней и побегов растений

Культура	Контроль		Биопрепарат	
	побег, см	корень, см	побег, см	корень, см
<i>Triticum aestivum</i> L.	28.7 ± 2.8	12.3 ± 1.3	35.7 ± 3.4	14.3 ± 1.9
<i>Pisum sativum</i> L.	31.7 ± 3.2	10.2 ± 1.1	37.2 ± 3.1	14.4 ± 1.14
<i>Allium cepa</i> L.	31.8 ± 3.1	10.3 ± 1.9	39.2 ± 3.5	12.6 ± 1.8

Таблица 2

Влияние биопрепарата на биомассу побегов растений (1 растение, г)

Вариант	Пшеница	Горох	Лук
Контроль	0.25 ± 0.01	1.68 ± 0.09	1.5 ± 0.08
Биопрепарат	0.27 ± 0.01	1.75 ± 0.08	1.54 ± 0.07

Таблица 3

Влияние удобрения на показатели микоризной инфекции сельскохозяйственных культур

Вариант	Пшеница	Горох	Лук
Частота микоризной инфекции в корневой системе, F%			
Контроль	79.0 ± 1.9	85.3 ± 5.1	90.0 ± 5.6
Биопрепарат	96.0 ± 4.3	97.3 ± 8.7	92.2 ± 4.1
Интенсивность колонизации микоризной инфекции в корневой системе микоризой, M%			
Контроль	3.2 ± 4.8	3.0 ± 1.6	4.2 ± 2.7
Биопрепарат	7.3 ± 3.6	8.4 ± 2.9	11.2 ± 9.8
Обилие арбускул микоризной инфекции в корневой системе, A%			
Контроль	0.9 ± 3.8	0.6 ± 0.5	0.4 ± 0.6
Биопрепарат	1.5 ± 0.7	0.8 ± 0.2	1.1 ± 3.3

Эффективность же ассоциации симбиоза в агроценозе зависит от разнообразия и типа растений, штаммов микроорганизмов и грибов, типа почвы, агро- и метеорологических условий, удобрений и средств защиты растений. Продуктивный потенциал растительно-микробных систем определяется генетически и зависит от комплементарности генотипов фито- и микросимбионтов [9-11].

Арбускулярная микориза имеется у большинства растений, в том числе и культурных, и каждый вид растений имеет различную степень микоризации. Считается, что специфику, диапазон хозяев и степень колонизации трудно анализировать из-за сложности взаимодействия между арбускулярными грибами и корневой системой различных растений [10-12].

Нами было исследовано влияние препарата «Кормилица Микориза» на формирование арбускулярной микоризы у различных растений. Как показали результаты, внесение биопрепарата на основе микоризных грибов способствовало повышению показателей микоризации. Так, частота микоризы в корневой системе пшеницы, гороха и лука увеличилась на 21, 14 и 2.4% соответственно, по сравнению с контролем. Интенсивность микоризной инфекции в корневой системе пшеницы, гороха и лука увеличилась в 2.3, 2.8 и 2.7 раза соответственно (по сравнению с контрольными растениями, выращенными без внесения препарата). Обилие арбускул в корневой системе пшеницы, гороха и лука увеличилось в 1.6, 1.3 и 2.7 раза соответственно, по сравнению с контрольными растениями (табл. 3).

Как видно из табл. 3, у всех исследованных растений выявлен высокий показатель частоты микоризации корневой системы, однако показатели интенсивности микоризной инфекции и обилие арбускул были низкие, даже после внесения биопрепарата.

В настоящее время проводится большое количество исследований по изучению влияния факторов и условий на формирование эндомикоризы растений. Арбускулярные грибы, как известно, являются облигатными биотрофными организмами и, как полагают, размножаются через споры, везикулы и гифы [1; 2]. При благоприятных условиях споры начинают прорастать в корнях хозяев и создают новый микоризный симбиоз. Гифы АМГ проникают в клетки корня и образуют особые «маленькие древовидные» грибковые структуры, называемые арбускулами, которые представляют собой связанные с мембраной органеллы различной формы внутри или вне клеток. Несмотря на то что арбускулы существуют лишь несколько дней, затем лизируются, в них осуществляется тесный обмен веществами между микоризными грибами и клетками корня [1; 2]. Проникновение микоризных грибов внутрь клеток корня – процесс сложный и до конца не понятный, но установлено, что связь микоризных грибов с корневым эпидермисом происходит из-за секреции полисахаридов корня. Перемещение продуктов фотосинтеза к корню увеличивает концентрацию углеродных соединений в корневых экссудатах. Это в основном аминокислоты, белки, соединения углерода, органические кислоты и регуляторы роста растений. Минеральный баланс и концентрация регуляторов роста растений непосредственно контролируют проницаемость клеток и механизм адгезии грибов на корне при микоризации [1; 2; 6; 9].

Очень низкие показатели интенсивности микоризной инфекции и обилие арбускулярных структур могут объяснять и невысокие показатели роста и биомассы исследуемых растений при внесении биопрепарата «Кормилица Микориза» в среду выращивания. Вероятно, полученные ре-

зультаты могли быть связаны с различными факторами, в частности с тем, что происходила конкуренция видов АМГ, содержащихся в препарате, и грибов, находящихся в почве.

Заклучение

В результате проведенных нами исследований показано, что биопрепарат «Кормилица Микориза» повышает рост и микоризацию (частоту, интенсивность колонизации и обилие арбускул в корневой системе) корней культурных растений (пшеница, горох, лук). Биопрепарат «Кормилица Микориза», состоящий из мицелия и спор гриба рода *Glomus*, колонизированных фрагментов корней, торфа, рекомендован для разных видов растительных организмов, однако от вида растения может зависеть эффект действия биопрепарата, так же как и сами арбускулярные микоризные грибы могут оказывать разные воздействия на растительные организмы. Таким образом, наши исследования показали: несмотря на то что все исследованные растения хорошо отзывались на внесение биопрепарата в почву, стимулирующий эффект препарата определяется видом сельскохозяйственной культуры. Наиболее отзывчивой культурой на внесение препарата в среду выращивания оказалась пшеница, менее – горох и лук.

При разработке для растениеводства препаратов, содержащих микоризные грибы, важным является понимание всех механизмов, а также условий, определяющих заселение корней различных растений микоризной инфекцией.

Список литературы / References

1. Noceto P.A., Bettenfeld P., Boussageon R., Hériché M., Sportes A., Tuinen D., Courty P.E., Wipf D. Arbuscular mycor-

rhizal fungi, a key symbiosis in the development of quality traits in crop production, alone or combined with plant growth-promoting bacteria. *Mycorrhiza*. 2021. Vol. 31. P. 655–669.

2. Youssef M.M.A., Eissa M.F.M. Biofertilizers and their role in management of plant parasitic nematodes: A review. *Biotechnology Pharmaceutical Resources*. 2014. Vol. 5 (1). P. 1–6.

3. Itelima J.U., Bang W.J., Onyimba I.A., Egbere O.J. A review: biofertilizer; a key player in enhancing soil fertility and crop productivity. *Journal of Microbiology and Biotechnology*. 2018. Vol. 2(1). P. 22–28.

4. Sinha R.K., Valani D., Chauhan K., Agarwal S. Embarking on a second green revolution for sustainable agriculture by vermiculture biotechnology using earthworms. *International Journal of Agricultural Health Safety*. 2014. Vol. (1). P. 50–64.

5. Mfilinge A., Mtei K., Ndakidemi P. Effect of *Rhizobium* inoculation and supplementation with phosphorus and potassium on growth leaf chlorophyll content and nitrogen fixation of bush bean varieties. *American Journal of Research Communication*. 2014. Vol. 2 (10). P. 49–87.

6. Thiouy B., Mania de Faria S., Kane A., Ndiaye C., Ould Soule A., Fall D., Duponnois R., Sylla S.N., Bâ A.M. Growth response of different species of *Ziziphus* to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi. *Fruits*. 2017. Vol. 72 (3). P. 174–181.

7. Trouvelot A., Kough C., Gianinazzi-Pearson V. Mesure du taux de mycorrhization VA d'un système racinaire. Recherche de méthodes d'estimation ayant une signification fonctionnelle. *Physiological and Genetical Aspects of Mycorrhizae / V. Gianinazzi-Pearson, S. Gianinazzi (eds)*. Paris: INRA Press, 1986. P. 217–221.

8. Khan S.W., Yaseen T., Naz F., Abidullah S., Kamil M. Influence of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) Inoculation on growth and mycorrhizal dependency of (*Lens culinaris* L.) Varieties. *International Journal of Bioorganic Chemistry*. 2019. № 4 (1). P. 1–4.

9. Didovich S., Gorgulko T., Didovich A. Control of productivity of agrocenosis / BIO Web of Conferences. 2020 17. 00138. DOI: 10.1051/bioconf/20201700138.

10. Bolandnazar S., Aliasgarzad N. Mycorrhizal colonization improves onion (*Allium cepa* L.) yield and water use efficiency under water deficit condition. *Scientia Horticulture*. 2007. Vol. 114. P. 11–15.

11. Ibrahim M. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in biological nitrogen fixation and nitrogen transfer from legume to companion species. *Journal of stress. Physiology and Biochemistry*. 2021. Vol. 17. No. 2. P. 121–134.

12. Курамшина З.М. Реакции растений на стресс в сообществе с эндофитными представителями *Bacillus subtilis* Cohn.: дис. ... докт. биол. наук. Уфа, 2018. 252 с.

Kuramshina Z.M. Plant responses to stress in community with endophytic representatives of *Bacillus subtilis* Cohn.: dis. ... doct. biol. sciences. Ufa, 2018. 252 p. (in Russian).