

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АРБУСКУЛЯРНЫХ МИКОРИЗНЫХ ГРИБОВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЛУКОВЫХ КУЛЬТУР



UTILIZATION OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN PRODUCTION OF *ALLIUM* SPECIES

Карузо Д.¹ – доктор с.-х. наук, профессор
Голубкина Н.А.^{2*} – доктор с.-х. наук, гл.н.с.
лабораторно-аналитического центра
Середин Т.М.² – кандидат с.-х. наук, с.н.с.
лаб. селекции и семеноводства луковых культур
Селлитто В.М.³ – кандидат с.-х.

Gianluca Caruso¹,
Golubkina N.A.^{2*},
Seredin T.M.²,
Sellitto V.M.³

¹ Неаполитанский Университет им Федерико II, Италия
² Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный центр овощеводства»
143072, Россия, Московская обл., Одинцовский р-н,
п. ВНИИССОК, ул. Селекционная, д. 14
*E-mail: segolubkina45@gmail.com
³ Биотех., Ларино, Кампобассо, Италия

¹ Department of Agricultural Sciences, University of Naples Federico II, Italy
² FSBSI Federal Scientific Vegetable Center
Selectionnaya str., 14, p. VNISSOK, Odintsovo district,
Moscow region, 143072, Russia
*E-mail: segolubkina45@gmail.com
³ Ms biotech S.p.A., Larino, Campobasso, Italy

Основополагающим направлением развития современного сельского хозяйства является разработка и использование технологий, обеспечивающих экологическую безопасность, высокие показатели продуктивности растений и качества последних. В связи с этим крайне актуальным являются вопросы оптимизации минерального питания и водообеспечения, повышения иммунитета и защиты растений от различных форм биотических и абиотических стрессов без значимой нагрузки на окружающую среду. Нормальный рост и развитие практически всех растений суши зависит от наличия в почве микоризных грибов, обеспечивающих оптимальное питание растений и снабжение водой за счет огромного количества гифов. В обзоре обсуждаются перспективы применения арбускулярных микоризных грибов при выращивании растений рода *Allium*, как наиболее отзывчивых растений к воздействию микоризы в связи с малоразвитой корневой системой, затрудняющей питание растений. Отмечается возможность снижения количества используемых удобрений, гербицидов и инсектицидов, необходимых для высокой продуктивности сельскохозяйственных культур благодаря использованию арбускулярно-микоризных грибов. В обзоре рассматриваются вопросы особенностей симбиотических взаимосвязей разных видов микоризных грибов (чистых и смешанных культур, преимущественно рода *Glomus*) с разными видами луковых культур (лук репчатый, чеснок, шаллот, лук порей, *A. roylei*, *A. fistulosum*, *A. galanthum*), обсуждаются вопросы изменений качества продукции под действием микоризы. Приводятся данные влияния климатических условий на эффективность применения арбускулярно-микоризных грибов. Отмечается возможность повышения эффективности биофортификации растений рода *Allium* селеном при использовании арбускулярно-микоризных грибов, а также увеличение содержания биологически активных серу-содержащих соединений в чесноке. Особое внимание уделяется факту отсутствия препаратов арбускулярно-микоризных грибов в России.

Ключевые слова: растения рода *Allium*, лук репчатый, микоризные грибы, продуктивность.

Для цитирования: Карузо Д., Голубкина Н.А., Середин Т.М., Селлитто В.М. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АРБУСКУЛЯРНЫХ МИКОРИЗНЫХ ГРИБОВ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ЛУКОВЫХ КУЛЬТУР. Овощи России. 2018;(3):93-98. DOI:10.18619/2072-9146-2018-3-93-98

*The fundamental direction of modern agriculture development is elaboration and utilization of technologies that ensure environmental safety, high plant productivity and quality of crop production. In this connection, the issues of optimization of mineral nutrition and water supply, immunity enhancement and protection of plants against various forms of biotic and abiotic stresses without significant environmental stress are of current interest. Normal growth and development of almost all plants on the Earth depends on the presence of mycorrhizal fungi in the soil, which ensure optimal plant nutrition and water supply due to the huge number of hyphae. The review discusses the prospects for the use of arbuscular mycorrhizal fungi in the cultivation of *Allium* species, as the most responsive plants to the effects of mycorrhizae due to the poorly developed root system that hinders the nutrition of plants. It is noted that utilization of arbuscular mycorrhizal fungi may provide the reduction of the amount of fertilizers, herbicides and insecticides needed for high productivity of crops. The review deals with the peculiarities of symbiotic interrelations of different species of mycorrhizal fungi (pure and mixed cultures, mainly of the genus *Glomus*) with different *Allium* species (onion, garlic, shallot, leek, *A. roylei*, *A. fistulosum*, *A. galanthum*). Questions of agricultural crops quality as affected by arbuscular mycorrhizal fungi are discussed. Data on the effect of climatic conditions on the efficiency of arbuscular mycorrhizal fungi utilization in *Allium* production are discussed. The possibility of increasing the efficiency of biofortification of *Allium* species with selenium via utilization of arbuscular-mycorrhizal fungi is noted, as well as an increase in the content of biologically active sulfur-containing compounds in garlic. Particular attention is paid to the necessity of the development of arbuscular mycorrhizal fungi preparations in Russia – the country not using this ecologically friendly technology at present.*

Keywords: *Allium* species, *A. cepa*, arbuscular mycorrhizal fungi, productivity

For citation: Caruso G., Golubkina N.A., Seredin T.M., Sellitto V.M. UTILIZATION OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI IN PRODUCTION OF *ALLIUM* SPECIES. Vegetable crops of Russia. 2018;(3):93-98. (In Russ.) DOI:10.18619/2072-9146-2018-3-93-98

Проблемы получения высокого урожая и качества продукции луковых культур определяются необходимостью использования значительного количества минеральных удобрений, пестицидов и гербицидов (Anonymous, 1986; Suhardi, 1996). Широкое использование этих растений в питании человека и при этом интенсивные технологии выращивания вызывают серьезную экологическую нагрузку на окружающую среду. Низкая биодоступность эссенциальных для роста и развития элементов почвы (таких как фосфор, калий) и плохо развитая корневая система создают особые трудности оптимизации питания растений рода *Allium* и особенно лука репчатого (*Allium cepa*) (Bosch-Serra & Currah, 2002).

В природных экосистемах оптимизация минерального питания растений осуществляется за счет активного симбиоза последних с арбускулярными микоризными грибами (АМГ). Хорошо известно, что большинство наземных растений могут успешно расти только в симбиозе с почвенными грибами. Этот взаимно выгодный симбиоз, называемый микоризой, обеспечивает транспорт энергии и вещества из почвы в растения (Cardon & Whitbeck, 2007), повышает биодоступность нутриентов и воды для растений благодаря глубоко проникающим грибам в поры почвы, недоступные для корневых волосков, структурирует ризосферу (Cardon & Whitbeck, 2007). Мицелиальная сеть микоризных грибов часто объединяет корневые системы растений на большой площади, защищает растения от патогенов и различных биотических и абиотических стрессов: засухи, засоления, подтопления, воздействия тяжелых металлов и вредных насекомых (Van der Heijden et al., 1998; Smith & Read, 2008; Bolandnazar et al., 2007; Jaime et al., 2008; Gianinazzi et al., 2010).

Высокая эффективность использования АМГ при выращивании различных растений неоднократно освещалась в научной литературе (Mohammadi et al., 2011; Golubkina et al., 2017). Положительное действие АМГ проявляется в улучшении питания, особенно мало подвижными нутриентами, такими как фосфор. Отдельные исследования показали, что АМГ может обеспечить до 90% потребности растения в фосфоре (Van der Heijden et al., 2006; Priyadharsini et al., 2012). Установлено, что использование АМГ чрезвычайно перспективно для фиторемедиации почвы, загрязненной пестицидами, содержащими органические соединения фосфора благодаря способности снижать уровень фосфор содержащих пестицидов в тканях растений (Wang et al., 2011).

В целом АМГ открывают возможности снижения количества используемых удобрений, гербицидов и инсектицидов, необходимых для высокой продуктивности сельскохозяйственных культур.

Использование АМГ при производстве луковых культур представляется особенно важным, поскольку открывает возможность осуществления экологически безопасного производства продукта с минимальным воздействием на окружающую среду (Plenchette et al., 2005). Установлено, что растения рода *Allium* относятся к группе растений высоко отзывчивых к воздействию АМГ (Miyasaka, Habte, 2001).

Настоящий обзор посвящен оценке положительного действия АМГ на продуктивность и качество луковых культур.

1. Влияние АМГ на продуктивность луковых культур

Среди различных растений представители рода *Allium* особенно чувствительны к наличию в почве микоризы в связи с особенностями корневой структуры (Deressa & Schenk, 2008; Mengel & Kirkby, 2001). Многочисленные исследования по инокуляции *Allium* с АМГ выявили высокую эффективность колонизации почвы грибами, проявляющуюся в повышении продуктивности растений, как в обычных условиях вегетации, так и при воздействии стрессовых факторов (Jaime et al., 2008; Bolandnazar et al., 2007; Goussous & Mohammad, 2009; Galvan et al., 2011). Установлена высокая корреляция между уровнем колонизации почвы природными АМГ и урожаем лука в полевых условиях и традиционной технологии выращивания (Galvan et al., 2009). Особенно важным представляется использование микоризных грибов в условиях органического земледелия, отличительной особенностью которого является высокий уровень органического вещества в почве, обладающего (на 27% и более для луковых культур) низкой биодоступ-

ностью, чем минеральные удобрения в традиционной технологии выращивания. Поскольку максимальный положительный эффект использования АМГ проявляется при дефиците фосфора, то большое внимание уделялось селекции растений с более развитой корневой системой и большей отзывчивостью к АМГ, обеспечивающих поступление в растения нутриентов и воды (Galvan et al., 2009).

К настоящему времени накоплен значительный экспериментальный материал по использованию АМГ в выращивании лука репчатого, порея и чеснока (табл.1). Отдельные работы посвящены применению АМГ в производстве лука шалота *A. cepa* L. var. *aggregatum*, лука батун *A. fistulosum*, *A. roylei*, лука молочно-цветного *A. galanthum* и гибрида *A. fistulosum* x *A. roylei* (табл.1). Такой выбор объектов исследования определяется не только пищевой ценностью этих видов луковых культур, но также необходимостью оценки эффективности применения АМГ, поскольку известны значительные вариации эффективности применения микоризы в зависимости от вида растения и его влияния на спорообразование и степень выживаемости микоризы (Sanders & Fitter, 1992; Bever et al., 1996). Например, показано, что в зависимости от условий окружающей среды АМГ может обеспечить повышение урожая лука в 2-18 раз (Hayman & Mosse, 1971).

2. Межвидовые особенности отклика растений рода *Allium* на воздействие АМГ

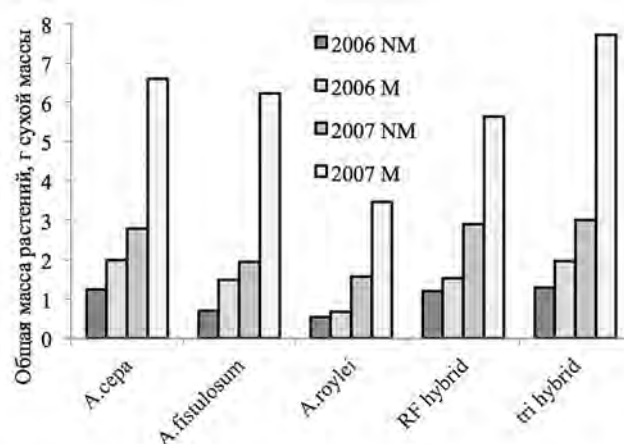


Рис. 1. Влияние микоризных грибов на общую массу растений *Allium* (Galvan et al., 2011)

(NM – в отсутствии микоризных грибов, M – на фоне использования АМГ)

Fig 1. Effect of AMF on total *Allium* plant mass (Galvan et al., 2011) (NM-no AMF application, M-AMF application)

Данные рис.1 свидетельствуют о том, что величина положительного действия АМГ (*Glomus intraradices*) в значительной степени определяется видом *Allium* и условиями окружающей среды и может значительно различаться в зависимости от года вегетации. В то же время исследование влияния АМГ на рост *A. cepa* зимой и осенью в 6 районах Индии (Shinde & Shinde, 2016) указывает на незначительные различия в положительном действии АМГ. Тем не менее, данные исследования (Galvan et al., 2011) указывали на наименьший отклик к воздействию АМГ у *A. roylei* и RF гибрида, в то время как наибольший был характерен для *A. fistulosum*. Следует отметить, что данные межсортных различий в действии АМГ весьма ограничены. Единственные исследования, проведенные на 5 сортах лука репчатого, позволили установить значительное увеличение антиоксидантной активности (АОА) при использовании АМГ, снижающейся в ряду: красные сорта>желтые>розовые>белые (Mollavali et al., 2015).

Таблица 1. Примеры использования АМГ при выращивании растений рода *Allium*
Table 1. Examples of AMF utilization in *Allium* plants cultivation

Объект	АМГ	Биологическое действие	Литература
Оignon <i>A. cepa</i>	<i>Glomus versiforme</i> (5 сортов лука репчатого)	Увеличение АОА. Сортные особенности: снижение АОА в ряду инокулированных растений: красный сорт Azarshahr> красный сорт Rosita> желтый сорт GholiGhesse> розовый сорт Horand> белый Kasha.	Mollavali et al., 2015
	<i>G. mosseae</i> , <i>G. soronatum</i> , <i>G. caledonium</i> , <i>G. Geosporum</i>	Наилучшие результаты получены для <i>G. mosseae</i> и <i>G. caledonium</i> .	Kostin & Podkovyrov, 2017
	<i>G. versiforme</i> , <i>G. intraradices</i> , <i>G. etunicatum</i>	Ускорение прорастания семян, улучшение минерального питания и водоснабжения, 3х-кратное увеличение урожая (>35 т/г). Наибольшее увеличение площади листьев при использовании <i>G. versiforme</i> .	Bolandnazar, 2009
	<i>G. mosseae</i>	Результаты полевых и тепличных исследований: значительное ускорение роста и повышение урожая в зимний и осенний период.	Shinde & Shinde, 2016
	<i>G. versiforme</i> , <i>G. intraradices</i> , <i>G. etunicatum</i> + 3 вида полива	Увеличение биомассы, листовой поверхности, сухого вещества, содержания хлорофилла и размера луковиц. Наилучшие результаты получены для <i>G. etunicatum</i> .	Bolandnazar et al., 2007
	Thiobacillus sp.+АМГ	Значительное повышение концентрации N, P, K и S в почвенной ризосфере растений на 60 и 90 дни со дня высадки в грунт.	Amal et al., 2014
	(<i>Glomus etunicatum</i> , <i>G. microaggregatum</i> , <i>G. intraradices</i> , <i>G. claroideum</i> , <i>G. mosseae</i> , <i>G. geosporum</i>) (M1) или инокуляция с индивидуальным видом гриба <i>G. intraradices</i> BEG140 (M2) и (2) преинокуляция коры с сапротрофными грибами (смесь <i>Gymnopilus</i> sp., <i>Agrocybe praecox</i> + <i>Marasmius</i> and <i>rosaceus</i> (S))	Значимая корреляция (r=0.83) между интенсивностью роста лука репчатого и АМ колонизацией. Все виды инокуляции за исключением использования индивидуальных грибов значительно повышали антиоксидантную активность луковиц, при максимальных значениях для вариантов с M1, S + M1, и S + M2. Некоторое увеличение содержания минеральных элементов в луковицах (увеличение содержания Mg и K для вариантов M2 и M2, S, и S + M2 treatments, соответственно).	Albrechtova et al., 2012
		АМГ снижает pH почвы более интенсивно в присутствии NH ₄ чем у не инокулированных растений.	Bago, Azcon, Aguilar, 1997
<i>A. cepa</i> , <i>A. roylei</i> , <i>A. fistulosum</i> , hybrid <i>A. fistulosum</i> x <i>A. roylei</i>	<i>Glomus intraradices</i>	+ корреляция между количеством корней, биомассы и значительным откликом к воздействию АМГ у родственных видов лука.	Galván et al., 2011
<i>A. fistulosum</i> , <i>A. roylei</i> , <i>A. galanthum</i>	<i>G. mosseae</i> <i>G. intraradices</i>	Очень близкий положительный эффект двух видов грибов на луке <i>A. roylei</i> и отсутствие вариаций между воздействием АМГ.	Scholten et al., 2006
шалот (<i>A. cepa</i> L. var. <i>aggregatum</i>)	АМГ и темные грибковые эндофитные ассоциации (DSE)	Значительные корреляции между содержанием P в почве and микросклеротией, а также между содержанием в почве N и K и количеством спор АМГ.	Priyadharsini et al., 2012
Порей <i>A. porrum</i>	<i>Rhizophagus intraradices</i> (RI), <i>Claroideoglossum claroideum</i> (CC), <i>Funneliformis mosseae</i> (FM)	Более высокий уровень колонизации (около 59%) для (RI+FM) и (RI+CC). Уровень нитратов максимально варьировал в зависимости от года исследования и был минимален в варианте (RI+FM) в 2014 и (RI+CC) в 2015 годах.	Kučová et al., 2018
	АМГ+biochars	Защита от тяжелых металлов. Biochars снижает уровень колонизации АМГ.	Han et al., 2016
	АМГ+компост на торфе	Повышение уровня Zn и K и отсутствие влияния на содержание сухого вещества, N и P. Использование компоста давало лучшие результаты, чем применение АМГ.	Perner et al., 2006
	<i>Funneliformis mosseae</i> , <i>Claroideoglossum claroideum</i> , <i>Rhizophagus intraradice</i>	АМГ может снизить вымывание нитратов из почвы.	Kučová et al., 2016
Чеснок <i>A. sativum</i>	<i>G. mosseae</i> <i>G. fasciculatum</i> +SeO ₂	Более высокий уровень колонизации, массы растений содержания хлорофилла и сахаров при использовании <i>G. fasciculatum</i> . SeO ₂ ингибирует колонизацию <i>Glomus</i> .	Patharajan & Raaman, 2012
	<i>G. fasciculatum</i>	Значительное возрастание скорости роста, высоты растений, диаметра луковицы, урожая, повышение содержания аллиина и активности аллииназы.	Borde et al., 2009
	<i>G. fasciculatum</i> + P (полевой опыт)	Наибольший уровень колонизации и урожай при 20 кг P/га.	Al-Karaki, 2002
	<i>Glomus intraradices</i>	10-кратное возрастание аккумуляции селената натрия.	Larsen et al., 2006

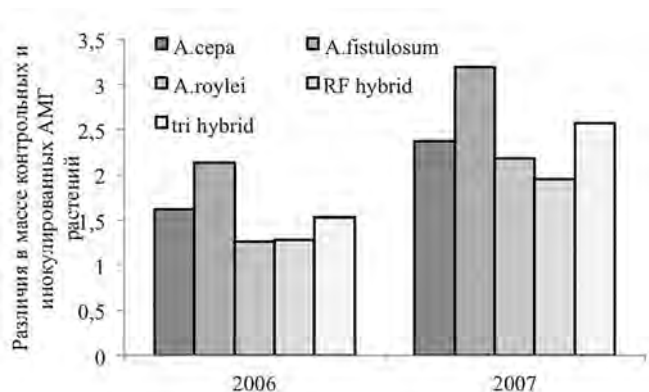


Рис.2. Межвидовые различия растений рода *Allium* в отклике на воздействие АМГ по показателю массы растения
Fig2. Interspecies differences of *Allium* plants response to AMF impact on plant mass

Инокуляция растений с АМГ способствует развитию корней, причем интенсивность такого воздействия значительно различается между различными видами представителей рода *Allium* (рис.3,4). Результаты работы (Galvan et al., 2011) находятся в хорошем соответствии с данными (Scholten et al., 2006), свидетельствующими о меньшем отклике *A. roylei* по сравнению с *A. fistulosum* и *A. galanthum* на воздействие АМГ.

Кроме того, обращает внимание, что на эффективность использования АМГ могут оказывать существенное влияние климатические условия, что проявляется в существовании значительных различий в результатах по годам исследования (рис.3,4).

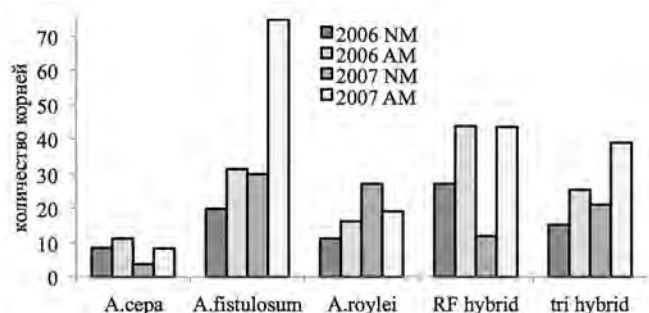


Рис.3. Влияние АМГ на количество корней в растениях рода *Allium* (Galvan et al., 2011)
(NM – без АМГ; AM – с использованием АМГ).
Fig3. Effect of AMF application on the amount of roots in *Allium* species (NM – without utilization of AMF; AM – with application of AMF)

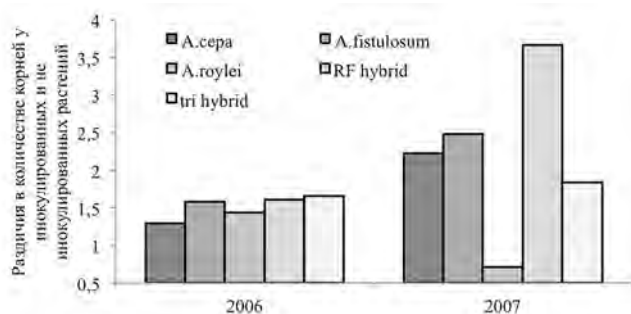


Рис.4. Межвидовые различия в интенсивности влияния АМГ на количество корней (Galvan et al., 2011).
Fig4. Interspecies differences in the intensity of AMF effect on the amount of roots (Galvan et al., 2011).

Значительное влияние климатических условий на эффективность спорообразования и аккумуляции нитратов и тяжелых металлов было также выявлено на растениях лука порея *A. porrum*, инокулированных с *Rhizophagus intraradices* BEG 140, *Claroideoglomus claroideum* BEG 210 и *Funneliformis mosseae* BEG 95 (Kucova et al., 2018).

3. Межвидовые различия АМГ в воздействии на растения рода *Allium*

Среди известных в настоящее время 150-160 видов арбускулярно-микоризных грибов на луковых культурах исследовали отдельные представители *Glomus*: *G. fasciculatum*, *mosseae*, *intraradices*, *etunicatum*, *microaggregatum*, *claroideum* и *geosporum*. Выявление особенностей взаимодействия растений рода *Allium* с АМГ указывает на существенные различия к адаптации (Singh et al., 2008). Так, среди трех видов АМГ *Glomus* (*G. versiforme*, *G. intraradices*, *G. etunicatum*) наибольший положительный эффект на рост и развитие лука репчатого оказывали *G. versiforme*. Этот же вид АМГ обеспечивал наибольший индекс листовой поверхности, равный 6,52 для *G. versiforme* по сравнению с 1,97 у контрольных растений (Bolandnazar et al., 2007). В то же время данные (Bolandnazar, 2009) на луке репчатом указывают на сходный уровень положительного влияния между *G. versiforme*, *G. intraradices* и *G. etunicatum* на более высокую выживаемость проростков лука (на 27% по сравнению с контрольными растениями).

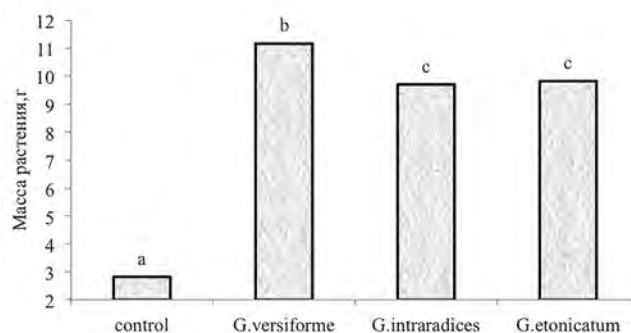


Рис.5. Влияние различных видов *Glomus* на общую массу растений *Allium cepa*, сорт Red Azar Shahr (Bolandnazar et al., 2007).
Fig5. Effect of different *Glomus* species on the total mass of *Allium cepa*, Red Azar Shahr variety (Bolandnazar et al., 2007).

Авторы предполагают, что *G. versiforme* прорастают быстрее, чем *G. intraradices*, обеспечивая растение-хозяина большим количеством нутриентов.

В то же время индекс урожая (соотношение массы луковицы/листья) оказался максимальным при использовании *G. intraradice* по сравнению с другими видами *Glomus* (рис.6).

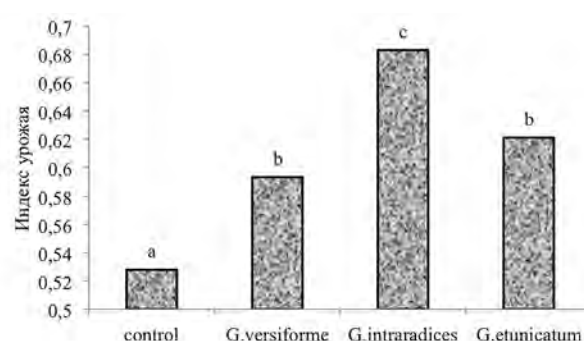


Рис.6. Влияние различных видов *Glomus* на индекс урожая лука репчатого (соотношение массы луковицы/листья).
Fig.6. Effect of different *Glomus* species on *Allium cepa* yield index, Red Azar Shahr variety (Bolandnazar et al., 2007).

Наблюдаемое ускорение роста *A. сера* благодаря использованию АМГ обеспечивает формирование коммерческих луковиц на 2-3 недели раньше, чем без АМГ. Использование других видов АМГ при выращивании лука (*Rhizophagus intraradices* (RI), *Claroideoglomus claroideum* CC, *Funnelliformis mosseae* (FM)) (Kuřová et al., 2018) выявило наибольший уровень колонизации (около 59%) для комбинаций (RI+FM) и (RI+CC).

Следует отметить, что делали отдельные попытки использовать смесь различных видов АМГ *Glomus* (*G. intraradices* BEG 140, *G. mosseae* BEG 95, *G. etunicatum* BEG 92, *G. claroideum* BEG 96, *G. microaggregatum* BEG 56, *G. geosporum* BEG 199) при выращивании лука репчатого (Albrechtova et al., 2012). Такой подход не позволяет выявить преимущества воздействия индивидуальных видов АМГ, однако обеспечивает увеличение урожайности лука в 2 раза (табл.1).

4. Влияние АМГ на биохимические характеристики растений рода *Allium*

Улучшение питания и водоснабжения растений под действием АМГ способствует повышению качества получаемой продукции. Так, Bolandnasar et al. (2007) указывают, что применение АМГ увеличивает содержание хлорофилла в листьях *A. сера* на 30% по сравнению с контрольными растениями, однако, межвидовые различия в интенсивности воздействия АМГ *Glomus* отсутствуют.

Совместное использование АМГ и сапротрофных грибов (эффективных деструкторов дерева и навоза) на продуктивность *A. сера* выявило многократное возрастание АОА при использовании АМГ (*G. intraradices* BEG140, *G. mosseae* BEG95, *G. etunicatum* BEG92, *G. claroideum* BEG96, *G. microaggregatum* BEG56, и *G. geosporum* BEG199) (Albrechtova et al., 2012). Наименьшее увеличение АОА лука было выявлено при использовании *G. intraradices* BEG140. В последнем случае авторы не выявили значительных различий в содержании аскорбиновой кислоты между растениями, обработанными АМГ и контрольными растениями, что может быть связано с низким содержанием витамина в луке репчатом. В то же время результаты предполагают, что возрастание АОА при воздействии АМГ и сапрофитов скорее связано с увеличением концентрации полифенолов и флавоноидов – основных антиоксидантов лука, чем с интенсивностью биосинтеза аскорбиновой кислоты. Более высокий уровень АОА лука, обработанного АМГ, был продемонстрирован на 5 сортах (Mollavali et al., 2015).

Пищевая ценность луковых культур определяется в первую очередь наличием серосодержащих соединений, проявляющих выраженный антиканцерогенный и кардиопротекторный эффект (Hanen et al., 2012). В связи с этим крайне интересным представляются результаты Borde et al. (2009), установившего увеличение содержания алиина и активности алииназы в чесноке (полевые условия) в результате использования *Glomus fasciculatum* (рис.7).

Показано также, что инокуляция чеснока с *Glomus fasciculatum* и *G. mosseae* приводит к возрастанию уровня хлорофилла и сахаров в листьях лука (Patharajan&Raaman, 2012).

Использование коммерческих препаратов АМГ: "Pla" (Terra Vital Hortimex + *G. mosseae*, *G. intraradices* + *G. claroideum* + *G. microaggregatum*), "Bio" (Endorize-Mix + *G. mosseae*, *G. intraradices*) и "Tri" (*G. Mosseae* + *G. Intraradices* + *G. etunicatum*) выявило значительное возрастание уровня калия в псевдочерешках порея по сравнению с контрольными растениями в условиях отсутствия внесения компоста (рис.8) и увеличение содержания цинка при внесении 20% компоста (рис.9).

Возрастание аккумуляции азота, фосфора и калия было установлено при инокуляции лука репчатого с АМГ микоризы кукурузы (*Glomus* sp. + *Gigaspora*) и сероокисляющими бактериями (Amal et al., 2014). Другие работы сообщают, что АМГ способны синтезировать органические кислоты, способные растворять нерастворимые минералы фосфора. АМГ могут влиять на усвоение металлов посредством иммобилизации последних на клеточных стенках гифов, путем хелатирования при выделении грибами таких

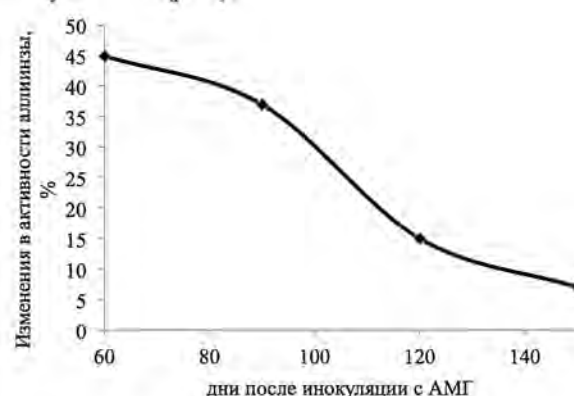


Рис.7. Влияние АМГ на активность алииназы (Borde et al., 2009)
Fig.7 Effect of AMF on alliinase activity (Borde et al., 2009).

соединений, как гломалин, или посредством компартиментализации внутри клеток гриба. Известно, что экспрессия генов устойчивости растений к металлам зависит от колонизации микоризой.

Принимая во внимание, что арбускулярные микоризные грибы в первую очередь повышают усвоение калия, фосфора, азота и серы, можно предположить, что они должны также ускорять аккумуляцию селена – природного аналога серы. Действительно, установлено, что добавление *Glomus intraradices* в почву повышает аккумуляцию селена чесноком в 10 раз с 1,5 до 15 мг/кг с.м. (Larsen et al., 2006). Степень обогащения растений селеном повышается также и при совместном использовании *Glomus intraradices* и селената

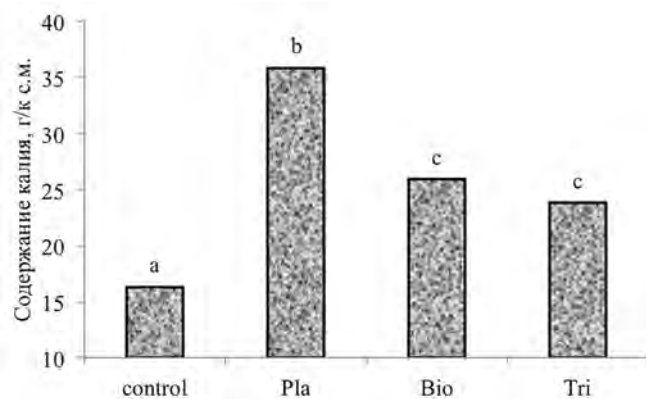


Рис.8. Влияние АМГ на аккумуляцию калия псевдочерешками порея *A. porrum* (Perner et al., 2006) без использования компоста.
Fig.8 Effect of AMF on potassium accumulation by *A.porrum* pseudo-stems without composting (Perner et al., 2006).

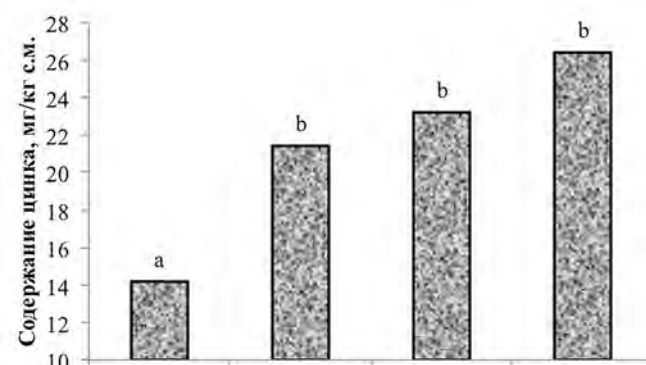


Рис. 9. Влияние АМ на аккумуляцию цинка псевдочерешками порея *A. porrum* (Perner et al., 2006) с использованием компоста.
Fig.9. Effect of AMF on zinc accumulation by *A.porrum* pseudo-stems with composting (Perner et al., 2006)

натрия. Установлено, что в таком продукте основную часть (2/3) производных селена составляет γ -глутамил-Se-метилселеноцистеин (вещество с наиболее выраженными антиканцерогенными свойствами), в то же время существенно меньшее количество присутствует в виде метилселеноцистеина, селенометионина и селената (Larsen et al., 2006). С другой стороны, Patharajan & Raaman (2012) отмечают, что совместная инокуляция чеснока с *G. fasciculatum* и внесение двуокиси селена в почву приводит к подавлению спорообразования АМГ.

Заключение

По данным Vostáka et al. (2008) в Европейском союзе функционирует около 12 производителей микоризных инокулятов

в Великобритании, Чехии, Германии, Швейцарии, Испании и Франции и около 20 производителей в других странах мира. Отсутствие производства АМГ в России и запреты ввоза в страну АМГ препаратов из стран Европейского союза создают ситуацию, когда сельское хозяйство страны не использует огромный потенциал АМГ в повышении урожая и качества сельскохозяйственной продукции. В связи с этим совершенно очевидным представляется острая необходимость разработки отечественной технологии и осуществления производства АМГ в России, что может явиться новым этапом эффективного развития растениеводства.

Авторы выражают благодарность Алине Колесниковой за помощь в координации работы авторов.

Литература/References

- Al-Karakl GN. Field response of garlic inoculated with arbuscular mycorrhizal fungi to phosphorus fertilization//J. Plant Nutr. 2002. -Vol.25(4):7470756 <https://doi.org/10.1081/PLN-120002956>
- Albrechtova J., Latr A., Nedorost L., Pokluda R., Posta K., Vosatka M. Dual Inoculation with Mycorrhizal and Saprotrophic Fungi Applicable in Sustainable Cultivation Improves the Yield and Nutritive Value of Onion//Sci World J Volume 2012, Article ID 374091,8pages doi:10.1100/2012/374091
- Amal A. Mohamed, Wedad E.E. Eweda, A.M. Heggo, Enas A. Hassan Effect of dual inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and sulphur-oxidising bacteria on onion (*Allium cepa* L.) and maize (*Zea mays* L.) grown in sandy soil under green house conditions//Ann. Agr. Sci.2014. 59(1).P.109-118.
- Anonymous, 1986: Pest control in tropical onions. Tropical Development and Research Institute, London.
- Bosch-Serra, A.D., Currah, L., 2002: Agronomy of onions. In: Rabinowitch, H.D., Currah, L. (eds.), *Allium crop science: recent advances*, 187–197. CAB International, Wallingford.
- Bago B., Azcon-Aguilar C. Changes in the rhizospheric pH induced by arbuscular mycorrhiza formation in onion (*Allium cepa* L.)//J. Plant Nutr. Soil Sci. 1997. Vol.160 (2). P.333-339 <https://doi.org/10.1002/jpln.19971600231>
- Bever, J.D., Morton, J.B., Antonovics, J., Schultz, P.A. Host-dependent sporulation and species diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in a mown grassland//J. Ecol. Vol.1996. Vol.84. P. 71–82. doi: 10.2307/2261701.
- Borde M., Dudhane M., Jite P.K. Role of Bioinoculant (AM Fungi) Increasing in Growth, Flavor Content and Yield in *Allium sativum* L. under Field Condition// Notulae Botanicae Horti Agrobotanici. 2009. Vol. 37(2). P. 124-128. doi: <http://dx.doi.org/10.15835/nbha3723289>.
- Bolandnazar S., Aliasgharzad N., Neishabury M.R., Chaparazadeh N. Mycorrhizal colonization improves onion (*Allium cepa* L.) yield and water use efficiency under water deficit condition//Sci. Hort. 2007. Vol. 114. P. 11–15. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2007.05.012>
- Bolandnazar S., Neushaboury M., Aliasgharzad N., Chaparazadeh N. Effect of mycorrhizal colonization on growth parameters of onion under different irrigation and soil conditions//Pakistan J. Biol. Sci. 2007. Vol.9 (10). P.1491-1496. doi: 10.3923/pjbs.2007.1491.1495.
- Bolandnazar S. The effect of mycorrhizal fungi on onion (*Allium cepa* L.) growth and yield under three irrigation intervals at field condition//J. Food Agr. Env. 2009. Vol. 7 (2). P. 360-362.
- Cardon ZG, Whitbeck JL 2007 The rhizosphere. Elsevier Academic press.
- Deressa T.G., Schenk M.K. Contribution of roots and hyphae to phosphorus up-take of mycorrhizal onion (*Allium cepa* L.) – a mechanistic modeling approach//J. Plant Nutr. Soil Sci. 2008. Vol.171. P. 810–820. <https://doi.org/10.1002/jpln.200700209>
- Golubkina N.A., El Azzi D., Cozzolino E., Cuciniello A., Bidaki S., Caruso G. Prestazioni produttive e qualitative del pomodoro "cherry" inoculato con funghi micorrizici in suoli salini// Agriscilia. 2017. 11. P.22-28
- Galván G.A., Kuyper T.W., Burger K., Keizer L.C., Hoekstra R.F., Kik C., Scholten O.E. Genetic analysis of the interaction between *Allium* species and arbuscular mycorrhizal fungi//Theor. Appl. Genet. 2011. Vol.122 (5). P.947-960. doi: 10.1007/s00122-010-1501-8.
- Galvan G.A., Paradi I., Burger K., Baar J., Kuyper T.W., Scholten O.E., Kik C. Molecular diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in onion roots from organic and conventional farming systems in the Netherlands//Mycorrhiza.2009. Vol. 19. P. 317–328. doi:10.1007/s00572-009-0237-2.
- Gianinazzi S., Golotte A., Binet M.N., Vantuinen D., Redecker D., Wipe D. Agroecology: the key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services//Mycorrhiza. 2010. Vol. 20. P.519–530.
- Goussous S.J., Mohammad M.J. Comparative effect of two arbuscular mycorrhizae and N and P fertilizers on growth and nutrient uptake of onions//Int. J. Agr. Biol. 2009. Vol.11. P.463–467.
- Han Y., Douds D.D., Boateng A.A. Effect of biochar soil-amendments on *Allium porrum* growth, arbuscular mycorrhizal fungus colonization//J. Plant Nutr. 2016. Vol.39 (11). P.1654-1662. DOI:10.1080/01904167.2015.1089903
- Hanan N., Fattouch S., Ammar E., Neffati M *Allium* Species, Ancient Health Food for the Future? // Chapter 17 in Scientific, Health and Social Aspects of the Food Industry ed B Valdez InTech P.343-354.
- Hayman D.S., Mosse B. Plant growth responses to vesicular-arbuscular mycorrhiza. Growth of endogone-inoculated plants in phosphate-deficient soils//New Phytologist. 1971. Vol. 70 (1). P. 19–27.
- Jaime M.D.L.A., Hsiang T., McDonald M. R. Effects of *Glomus intraradices* and onion cultivar on *Allium* white rot development in organic soils in Ontario//Can. J. Plant Pathol. 2008. Vol.30. P. 543–553.
- Kostin M., Podkovyrov I. Using mycorrhiza in onion growing: Russian experience//Gisap. Sci. J. Mycol. veterinary med. agr. sci. 2017. P.7-9.
- Kučová L., Kopta T., Šekara A., Pokluda R. Controlling Nitrate and Heavy Metals Content in Leeks (*Allium porrum* L.) Using Arbuscular Mycorrhizal Fungi Inoculation//Pol. J. Environ. Stud. 2018. Vol. 27 (1). P. 137-143. doi: 10.15244/pjoes/73799.
- Kučová L., Zöhora J., Pokluda R. Effect of mycorrhizal inoculation of leek *Allium porrum* L. on mineral nitrogen leaching//Hort. Sci. (Prague). 2016. Vol. 43 (4). P. 195–202. doi: 10.17221/182/2015-HORTSCI.
- Larsen E.H., Lobinski R., Burger-Meyer K., Hansen M., Ruzik R., Mazurowska L., Rasmussen P.H., Sloth J.J., Scholten O., Kik C. Uptake and speciation of selenium in garlic cultivated in soil amended with symbiotic fungi (mycorrhiza) and selenate// Anal Bioanal Chem (2006) 385: 1098–1108 DOI 10.1007/s00216-006-0535-x
- Miyasaka, S.C., and M. Habte. 2001. Plant mechanisms and mycorrhizal symbioses to increase phosphorus uptake efficiency//Commun. Soil Sci. Plant Anal. 32: 1101–1147.
- Mengel K., Kirkby E.A. Principle of plant nutrition. 2001. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht
- Mohammadi K., Khalesro S., Sohrabi Y., Heidari G.A. Review: Beneficial Effects of the Mycorrhizal Fungi for Plant Growth//J. Appl. Environ. Biol. Sci. 2011. Vol. 1(9). P.310-319.
- Mollavali M., Bolandnazar S., Nazemeh H., Aliasgharzad N. The effect of mycorrhizal fungi on antioxidant activity of various cultivars of onion (*Allium cepa* L.)//Int. J. Biosci. 2015. Vol.6 (1). P. 66-79. doi 10.12692/ijb/6.1.
- Patharajan S., Raaman N. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and selenium uptake by garlic plants// Archives of Phytopathol. Plant Protection 2012. Vol.45 (2). P.138-151. Published online: 2012https://doi.org/10.1080/03235408.2010.501166.
- Perner H., Schwarz D., George E. Effect of mycorrhizal inoculation and compost supply on growth and nutrient uptake of young leek plants grown on peat-based substrates//Hort.Sci. 2006. Vol.4 (3). P.628-632.
- Plenchette C., Clermont-Dauphin C., Meynard J.M., Fortin J.A. Managing arbuscular mycorrhizal fungi in cropping system//Can. J. Plant Sci.2005. Vol.85. P. 31–40. <https://doi.org/10.4141/P03-159>.
- Priyadarsini P.S., Pandey R.R., Muthukumar T. Arbuscular mycorrhizal and dark septate fungal associations in shallot (*Allium cepa* L. var. *aggregatum*) under conventional agriculture// Acta Bot. Croat. 2012. Vol.71 (1). P. 159–175.
- Sanders I.R., Fitter A.H. Evidence for differential responses between host-fungus combinations of vesicular-arbuscular mycorrhizas from a grassland//Mycol. Res. 1992. Vol.96. P. 477–480.
- Singh S., Pandey A., Chaurasia B., Palni L.M.S. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi associated with the rhizosphere of tea growing in 'natural' and 'cultivated ecosystems//Biol. Fert. Soils. 2008. Vol.44. P. 491–500. doi <https://doi.org/10.1007/s00374-007-0231-9>
- Shinde S.K., Shinde B.P. Consequence of Arbuscular Mycorrhiza on Enhancement, Growth and Yield of Onion (*Allium cepa* L.)// Int. J. Life. Sci. Scienti. Res. 2016. Vol. 2(2). P. 206-211.
- Scholten O.E., Galvan-Vivero G., Burger-Meijer K., Baar J., Kik C. Effect of arbuscular mycorrhiza fungi on growth and development of onion and wild relatives. Poster at: Joint Organic Congress, Odense, Denmark, May 30-31, 2006.
- Smith S.E., Read D.J. Mycorrhizal symbiosis. 2008. Academic Press Inc, San Diego.
- Suhardi H.A. Effect of planting date and fungicide applications on the intensity of anthracnose on shallot//Indonesian J. Hort. 1996. Vol. 6. P. 172–180. doi: <https://doi.org/10.2478/v10184-011-0058-1>.
- Van der Heijden M.G.A., Klironomos J.N., Ursic M., Moutoglis P., Streitwolf-Engel R., Boller T., Wiemken A., Sanders I.R. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity//Nature. 1998. Vol.396. P.69-72. doi 10.1038/23932.
- Van der Heijden M.G., Streitwolf-Engel R., Riedl R., Siegrist S., Neudecker A., Ineichen K., Boller T., Wiemken A., Sanders I.R. The mycorrhizal contribution to plant productivity, plant nutrition and soil structure in experimental grassland//New Phytol. 2006. Vol.172. P.739-752. doi :10.1111/j.1469-8137.2006.01862.x.
- Vostáka, M., J. Albrechtova and R. Pattern, 2008. The International Market Development for Mycorrhizal Technology. In: Mycorrhiza: State of the Art, Genetics and Molecular Biology, Eco-Function, Biotechnology, Eco-Physiology, Structure and Systematics, Varma, A. (Ed.). Springer, New York, USA, ISBN: 9783540788263 pp: 419-438.
- Wang F.Y., Tong R.J., Shi Z.Y., Xu X.F., He X.H. Inoculations with Arbuscular mycorrhizal fungi increase vegetable yields and decrease phoxim concentrations in carrot and green onion and their soils// PLoS ONE. 2011. Vol. 6(2): e16949. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0016949>