

УДК 581.557.24 : [633.36+633.15

Б.К. Касымбеков, Д.Г. Фалеев
Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Казахстан, г. Алматы
*E-mail: ex_eko@mail.ru

Влияние арбускулярной микоризы на морфологию корневой системы *Phaseolus vulgaris* L. и *Zea mays* L.

Проведенные исследования по изучению влияния арбускулярной микоризы на морфологию корневых систем микоризных и безмикоризных растений *Phaseolus vulgaris* L. и *Zea mays* L. показали, что корневые системы микоризных растений развивались значительно лучше, чем безмикоризные. Полученные данные подтверждают, что арбускулярная микориза повышает ростовые показатели растения-хозяина, значительно увеличивая количество и длину корневых систем, как главного, так и придаточного корня. За счет повышения объема корневой системы увеличивается объем эксплуатируемой почвы, что в свою очередь повышает количество питательных веществ, доступных для растения-хозяина, а значит, повышается конкурентоспособность растения и его устойчивость к различным неблагоприятным факторам окружающей среды.

Ключевые слова: арбускулярная микориза, морфология корневых систем, *Phaseolus vulgaris* L., *Zea mays* L., система главного корня, система придаточного корня, растение-хозяин, р. *Glomus*.

B.K. Kasymbekov, D.G. Faleyev An effect of arbuscular mycorrhiza on *Phaseolus vulgaris* L. and *Zea mays* L. root system morphology

Investigations of the mycorrhizal and nonmycorrhizal plants *Phaseolus vulgaris* L. and *Zea mays* L. showed that root systems of plants with mycorrhiza were developed more better than nonmycorrhizal ones. Received data show that arbuscular mycorrhiza raises the growth characteristics of host plant considerably increasing the number and the length of as main as additional roots. Owing to the increasing of the root system capacity the volume of used soil is increased too. This increases the abundance of nutritive material available to host plant. Hence, the persistence of plants and its resistance to difficult environments.

Keywords: arbuscular mycorrhiza, root system morphology, *Phaseolus vulgaris* L., *Zea mays* L., primary root system, adventitious root system, host plant, *Glomus* genus.

Б.К. Касымбеков, Д.Г. Фалеев *Phaseolus vulgaris* L. және *Zea mays* L. тамыр жүйелерінің морфологиясына арбускулалық микоризаның әсері

Микоризалы және микоризасыз *Phaseolus vulgaris* L. және *Zea mays* L. өсімдіктердің тамыр жүйелерінің морфологиясына арбускулалық микоризаның әсері зерттелінді. Микоризалық өсімдіктердің тамыр жүйелері микоризасыз өсімдіктерге қарағанда жақсы дамығанын көрсетті. Арбускулалық микориза өсімдік-иенің өсу көрсеткіштерін арттырып, тамыр жүйелерінің, оның ішінде кіндік тамырын да, жанама тамырлардың да, ұзындығы мен санын көбейтеді.

Түйін сөздер: арбускулалық микоризасы, тамыр жүйелерінің морфологиясы, *Phaseolus vulgaris* L., *Zea mays* L., кіндік тамыр, жанама тамыр, өсімдік-ие, р. *Glomus*.

Активная роль в поглощении растением элементов питания принадлежит корневой системе. При этом корневые системы растений вступают в сложнейшие взаимоотношения не только с абиотическими элементами почвы, но и с

почвенными микроорганизмами: бактериями, водорослями, простейшими беспозвоночными животными и грибами, важнейшими из которых являются грибы, образующие микоризы с корнями высших растений [1-3].

В образовании микориз принимают участие около 500 видов зигомикетов (эндомикоризы), более 3000 видов базидиомицетов (эктомикоризы) и около 100 видов аскомицетов. Грибы образуют 4 основных типа микориз: эндомикоризы (грибы образующие арбускулярную микоризу), эктомикоризы, эрикоидные и орхидные микоризы [2-4].

Микосимбионтами арбускулярных микориз являются грибы порядка *Glomales* (класс *Zygomycetes*), относящиеся, в основном, к 4 родам. Арбускулярная микориза – это широко распространенная в природе (характерная для порядка 80% видов растений), эволюционно сложившаяся между корнями высших (в основном травянистых) растений и микроскопическими грибами трофоценотическая, структурно оформленная ассоциация, в которой микосимбионты воспроизводятся и сосуществуют в физиологически и экологически взаимозависимом состоянии и в отношениях, называемых мутуалистическим симбиозом. Глубоко проникая в почву, пронизывая ее в разных направлениях густой сетью тончайших разветвлений, являясь связующим звеном между почвой и корневой системой растений, почвенные гифы микоризных грибов непрерывно снабжают корни и надземные части растения водой и элементами питания [2, 3].

Показано, что микоризные растения более устойчивы к различным стрессовым факторам: к недостатку питательных элементов и влаги, отравлению тяжелыми металлами и другими токсическими веществами антропогенного происхождения. Эндомикориза повышает устойчивость и жизнеспособность как отдельных микотрофных растений, так и устойчивость биогеоценоза в целом. Арбускулярная микориза принимает активное участие в круговороте минеральных веществ: способствует биологическому выветриванию, развитию почвообразовательных процессов [2, 4]. Несмотря на громадный интерес к микоризе многочисленных исследователей всего мира, в связи с ее большим теоретическим и практическим значением, в природе эндомикориз остается еще много непознанного [4, 5].

Целью настоящей работы было выявление влияния эндомикоризных грибов на морфологию корневых систем травянистых растений в условиях лабораторного опыта.

Материалы и методы

Нами были проведены исследования морфологии корневой системы микоризной и безмикоризной фасоли обыкновенной – *Phaseolus vulgaris* L. (сем. *Fabaceae*) и кукурузы обыкновенной – *Zea mays* L. (сем. *Poaceae*) в условиях лабораторного опыта, с целью выявления влияния арбускулярной микоризы на архитектуру корневых систем *Phaseolus vulgaris* L. и *Zea mays* L. Морфология корневых систем была исследована в связи с тем, что именно корни принимают активное участие в поглощении питательных веществ [5].

Phaseolus vulgaris L. и *Zea mays* L. были выбраны для проведения эксперимента в связи с тем, что эти растения являются представителями разных классов: двудольных и однодольных, относятся к семействам (бобовых и мятликовых), представители которых широко распространены в природе.

Кроме того, *Phaseolus vulgaris* L. и *Zea mays* L. были выбраны в связи с их широким применением в мировой практике как для лабораторных исследований в области физиологии растений, так и в исследованиях по изучению микосимбиотрофизма и его влиянию на растения.

Выбранные виды хорошо растут в лабораторных условиях, имеют высокие показатели биомассы, а значит, при проведении замеров дают более показательные результаты, более наглядную картину исследуемых параметров.

Для постановки лабораторного опыта нами отбиралась почва в районе КазГУГрада. Отбранная почва просеивалась через сито (с диаметром ячеек – 3 мм), всевозможные посторонние предметы (камни, фрагменты корней и т. д.) удалялись. После этого почву стерилизовали в автоклаве (при 1 атм. в течение 1 часа). Просеянный песок (из которого также удалялись посторонние предметы) подвергался термической обработке в сушильном шкафу в течение 3 часов, при температуре 200°C. После обработки почва и песок смешивались в пропорции 3:1. Приготовленная почвосмесь помещалась в пластиковые горшки объемом 400 мл. Затем в половину горшков вносился инокулят микоризных грибов, произведенный компанией «Mycorrhizal products» (США). Таким образом, одна половина горшков содержала почвосмесь с инокулятом микоризных грибов (споры р. *Glomus*), другая – почвосмесь без микоризных грибов.

Семена растений поверхностно стерилизовали в растворе $KMnO_4$ и проращивали в стерильных чашках Петри. Проростки высаживали в приготовленные горшки.

При изучении морфологии корневых систем фиксировались два типа параметров: линейные (длина главного корня, максимальная длина боковых корней главного корня 1-го, 2-го и 3-го порядка, максимальная длина придаточного корня и боковых корней придаточного корня 1-го, 2-го и 3-го порядка) и количественные (количество боковых корней системы главного корня, количество придаточных корней и количество боковых корней системы придаточного корня).

Результаты и их обсуждение

Проведенные лабораторные исследования морфологии корневых систем микоризных и безмикоризных растений *Phaseolus vulgaris* L. показали, что корни фасоли обыкновенной имели типичное строение и состояли не только из главного корня и боковых его ответвлений первого и второго порядков, но также и из придаточных

корней, составлявших существенную часть корневой системы.

Главный корень безмикоризной фасоли достигал в длину в среднем $93,9 \pm 4,8$ мм, максимальная длина боковых корней 1-го и 2-го порядков составляла соответственно $45,9 \pm 2,4$ и $14,6 \pm 1,7$ мм. Боковые корни третьего порядка выражены незначительно, их максимальная длина не превышала $3,3 \pm 1,0$ мм (таблица 1).

Система придаточных корней *Phaseolus vulgaris* L. была развита заметно лучше, чем система главного корня. Количество придаточных корней безмикоризной фасоли достигало в среднем $10,3 \pm 0,7$ штук на одно растение. Максимальная длина придаточных корней достигала в среднем $188,7 \pm 5,1$ мм. Боковые корни 1-го порядка придаточных корней безмикоризных растений были хорошо развиты, в то время как придаточные корни 2-го и 3-го порядков были развиты слабо. Максимальная длина боковых корней 1-го порядка придаточных корней составила в среднем $36,2 \pm 2,9$ мм, придаточных корней 2-го и 3-го порядков – соответственно $12,5 \pm 0,7$ и $0,7 \pm 0,1$ мм (таблица 2).

Таблица 1 – Влияние арбускулярной микоризы на систему главного корня *Phaseolus vulgaris* L.

Параметры корневых систем		Наличие микоризной инфекции	
		безмикоризные растения	микоризные растения
Длина главного корня (мм)		$93,9 \pm 4,8$	$141,3 \pm 7,1$
Количество боковых корней главного корня (шт.)		$18,5 \pm 0,4$	$26,0 \pm 0,7$
Максимальная длина боковых корней главного корня (мм)	I	$45,9 \pm 2,4$	$46,2 \pm 1,9$
	II	$14,6 \pm 1,7$	$23,3 \pm 2,9$
	III	$3,3 \pm 1,0$	$2,7 \pm 0,8$

Габитус корневой системы микоризной фасоли в целом был развит заметно лучше (рисунок 1). Так максимальная длина главного корня микоризных растений была заметно больше таковой безмикоризных растений более чем в 1,5 раза (соответственно в среднем $141,3 \pm 7,1$ и $93,9 \pm 4,8$ мм). Максимальная длина боковых корней главного корня 2-го порядка микотрофных растений так же превосходила длину данных корней немикотрофных растений, составив $23,3 \pm 2,9$ и $14,6 \pm 1,7$ мм. В то время как аналогичные показатели корней 1-го и 3-го порядков микоризных и безмикоризных растений почти не различались. Количество боковых корней главного корня микотрофных растений почти в 1,5 раза было больше, чем немикотрофных и составило соответственно $26,0 \pm 0,7$ и $18,5 \pm 0,4$ штук (таблица 1).

Внесение инокулята эндомикоризных грибов влияло на систему придаточных корней, увеличивая как длину, так и их количество. Максимальная длина придаточного корня микоризной

фасоли обыкновенной была больше, чем у безмикоризных почти в 1,5 раза (соответственно составил в среднем $266,5 \pm 6,3$ мм у микоризной и $188,7 \pm 5,1$ мм у безмикоризной фасоли). Количество придаточных корней микотрофных представителей *Phaseolus vulgaris* L. достигало в среднем $14,3 \pm 0,8$ штук, в то время как у немикотрофных – $10,3 \pm 0,7$ штук (таблица 6).

Максимальная длина боковых корней 1-го порядка придаточного корня микотрофной фасоли составила в среднем $53,7 \pm 3,7$ мм (безмикоризной – $36,2 \pm 2,9$ мм), корней 2-го порядка соответственно $15,8 \pm 1,1$ и $12,5 \pm 0,7$ мм, 3-го – $2,0 \pm 0,3$ и $0,7 \pm 0,1$ мм (таблица 6).

Количество придаточных корней и боковых корней придаточного корня микоризных растений также было значительно больше, чем у безмикоризных, соответственно составив в среднем $14,3 \pm 0,8$ штук (у микоризных растений) и $10,3 \pm 0,7$ штук (у безмикоризных), и $32,0 \pm 0,9$ и $30,3 \pm 0,8$ штук (таблица 2).

Таблица 2 – Влияние арбускулярной микоризы на систему придаточного корня *Phaseolus vulgaris* L.

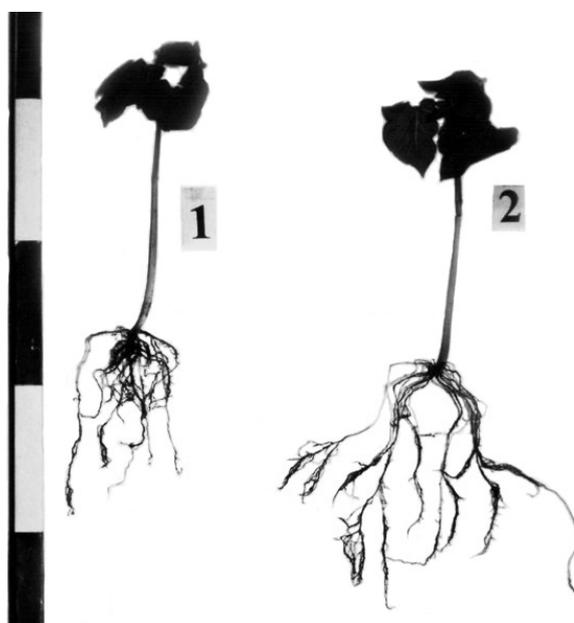
Параметры корневых систем		Наличие микоризной инфекции	
		безмикоризные растения	микоризные растения
Количество придаточных корней (шт.)		$10,3 \pm 0,7$	$14,3 \pm 0,8$
Максимальная длина придаточного корня (мм)		$188,7 \pm 5,1$	$266,5 \pm 6,3$
Количество боковых корней придаточного корня (шт.)		$30,3 \pm 0,8$	$32,0 \pm 0,9$
Максимальная длина боковых корней придаточного корня (мм)	I	$36,2 \pm 2,9$	$53,7 \pm 3,7$
	II	$12,5 \pm 0,7$	$15,8 \pm 1,1$
	III	$0,7 \pm 0,1$	$2,0 \pm 0,3$

Корневая система кукурузы обыкновенной имела типичное строение и состояла из зародышевого корня и боковых его ответвлений (первого и второго порядков), а также из придаточных корней, со-

ставлявших существенную часть корневой системы. Вместе с тем зародышевый корень как безмикоризных, так и микоризных экземпляров *Zea mays* L., превосходил в развитии придаточные корни.

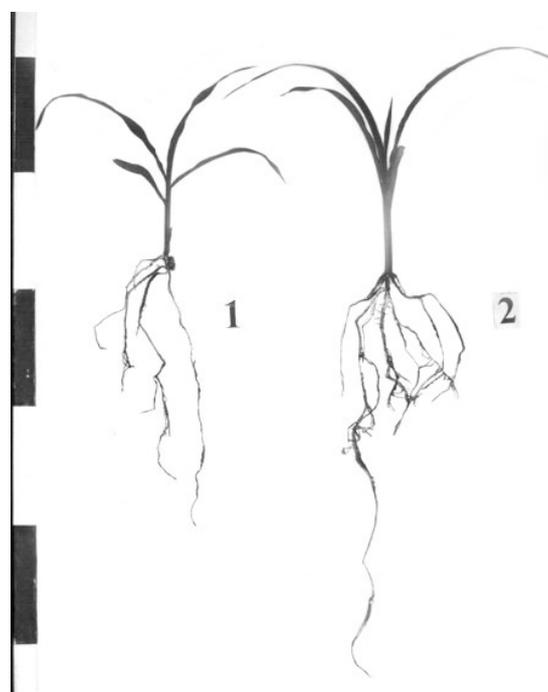
Зародышевый корень безмикоризной кукурузы на 45-ый день проведения лабораторного опыта достигал в длину в среднем $165,0 \pm 5,3$ мм. Количество боковых корней составляло в

среднем $16,0 \pm 0,7$ штук. Максимальная длина боковых корней 1-го и 2-го порядков составляла в среднем соответственно $46,5 \pm 4,5$ и $8,0 \pm 2,1$ мм (таблица 3).



Одно деление линейки соответствует 10 см.

Рисунок 1 – Корневые системы безмикоризного (1) и микоризного (2) растения *Phaseolus vulgaris* L.



Одно деление линейки соответствует 10 см.

Рисунок 2 – Корневые системы безмикоризного (1) и микоризного (2) растения *Zea mays* L.

Количество придаточных корней безмикоризной кукурузы достигало в среднем $9,0 \pm 0,3$ штук на одно растение. Максимальная длина придаточных корней достигала в среднем $152,2 \pm 5,2$ мм. Количество боковых корней придаточного корня составило в среднем $12,5 \pm 0,4$ штук. Боковые корни 1-го и 2-го порядков придаточных корней безмикоризных растений были развиты слабо. Максимальная длина боковых корней 1-го порядка придаточных корней составила в среднем $32,7 \pm 3,9$ мм, 2-го порядка – $2,5 \pm 0,8$ мм (таблица 4).

Система зародышевого корня микоризной кукурузы была развита значительно лучше и превосходила систему безмикоризной кукурузы по целому ряду значений (рисунок 2). Так, макси-

мальная длина зародышевого корня микоризных растений была более чем в полтора раза больше чем у безмикоризных растений ($165,0 \pm 5,3$ мм) и достигала в среднем $260,7 \pm 5,9$ мм.

Количество боковых корней системы зародышевого корня микоризных растений было в два раза выше, чем у безмикоризных ($16,0 \pm 0,7$ шт.), и достигало в среднем $38,7 \pm 0,6$ штук. Максимальная длина боковых корней 1-го порядка зародышевого корня микоризных растений превосходила длину ответвлений 1-го порядка безмикоризных растений ($46,5 \pm 4,5$ мм) почти в два раза, составив в среднем $78,3 \pm 3,4$ см. Максимальная длина боковых корней микоризных и безмикоризных растений 2-го порядка, математически достоверно, не отличалась (таблица 3).

Таблица 3 – Влияние арбускулярной микоризы на систему зародышевого корня *Zea mays* L.

Параметры корневых систем		Наличие микоризной инфекции	
		безмикоризные растения	микоризные растения
Длина зародышевого корня (мм)		$165,0 \pm 5,3$	$260,7 \pm 5,9$
Количество боковых корней зародышевого корня (шт.)		$16,0 \pm 0,7$	$38,7 \pm 0,6$
Максимальная длина боковых корней зародышевого корня (мм)	I	$46,5 \pm 4,5$	$78,3 \pm 3,4$
	II	$8,0 \pm 2,1$	$5,7 \pm 1,8$

Микориза также влияла на систему придаточных корней растений, увеличивая их максимальную длину в 2 раза ($326,0 \pm 4,3$ мм) по сравнению с безмикоризными ($152,2 \pm 5,2$ мм). Показатели количества боковых корней придаточного корня и максимальной длины боковых корней 1-го и 2-го порядков микоризных и безмикоризных растений фактически не отличалась. Количество придаточных корней было лишь незначительно меньше чем у безмикоризных экземпляров, составив в среднем $8,3 \pm 0,2$ штуки (таблица 4).

Таким образом, проведенные нами исследования по изучению влияния арбускулярной микоризы на морфологию корневых систем микоризных и безмикоризных растений *Phaseolus*

vulgaris L. и *Zea mays* L. показали, что корневые системы микоризных растений развивались значительно лучше, чем безмикоризные. Полученные нами данные подтверждают, что арбускулярная микориза повышает ростовые показатели растения-хозяина, значительно увеличивая количество и длину корневых систем как главного, так и придаточного корня. За счет повышения объема корневой системы увеличивается объем эксплуатируемой почвы, что в свою очередь повышает количество питательных веществ, доступных для растения-хозяина, а значит, повышается конкурентоспособность растения и его устойчивость к различным неблагоприятным факторам окружающей среды.

Таблица 4 – Влияние арбускулярной микоризы на систему придаточного корня *Zea mays L.*

Параметры корневых систем		Наличие микоризной инфекции	
		безмикоризные растения	микоризные растения
Количество придаточных корней (шт.)		9,0±0,3	8,3±0,2
Максимальная длина придаточного корня (мм)		152,2±5,2	326,0±4,3
Количество боковых корней придаточного корня (шт.)		12,5±0,4	13,0±0,2
Максимальная длина боковых корней придаточного корня (мм)	I	32,7±3,9	47,0±2,3
	II	2,5±0,8	5,3±2,1

Литература

- 1 Байтулин И.О. Основы ризологии. – Алматы: НИЦ Ғылым, 2001. – 330 с.
- 2 Селиванов И.А. Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза. – М.: Наука, 1981. – 177 с.
- 3 Каратыгин И. В. Козволюция грибов и растений. – Санкт-Петербург: Гидрометеиздат, 1993. – 116 с.
- 4 Sharma A.K., Johri B.N. Arbuscular Mycorrhizae Interactions in Plants, Rhizosphere and Soils. – Plymouth: Science Publishers UK, 2002. – 363 p.
- 5 Байтулин И.О., Мухитдинов Н.М., Касымбеков Б.К. Итоги и перспективы изучения микотрофизма в Казахстане // Материалы международной научной конференции, посвященной 70-летию Института ботаники и фитоинтродукции НАН РК. – Алматы, 2002. – С. 157-160.