

ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ ГРИБОМ *AMANITA MUSCARIA* L. НА МИНЕРАЛЬНУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ НА СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ НИЖЕГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Р. В. Капустин

Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия

Поступила в редакцию 30.01.2012

Аннотация. Изучено влияние инокуляции различными дозами спор эктомикоризного гриба *Amanita muscaria* L. на функциональную активность корневой системы и минеральную продуктивность сосны обыкновенной, лиственницы сибирской, ели европейской, дуба черешчатого и яблони домашней на серых лесных почвах Нижегородской области.

Ключевые слова: микориза, микология, сосна обыкновенная, лиственница сибирская, ель европейская, дуб черешчатый, яблоня домашняя.

Abstract. Studied the influence of inoculation with different doses of spores ectomycorrhizal fungus *Amanita muscaria* L. on the functional activity of the root system and mineral productivity of Scotch pine, Siberian larch, Norway spruce, English oak and apple home on the grey forest soils of the Nizhny Novgorod region.

Keywords: mycorrhiza, mycology, Scotch pine, Siberian larch, Norway spruce, English oak, apple home.

Большую роль в адаптации растений к условиям окружающей среды играет микориза. Микотрофность широко распространена как у древесных, так и у травянистых видов [1]. Микориза улучшает водный обмен и доступность питательных веществ, в том числе из труднодоступных для растения соединений [2]. Ф.Ю. Гельцер установлено, что чем лучше развита микориза на корнях сеянцев дуба и сосны, тем больше азота и зольных элементов содержится в листьях и иглах этих растений, также микоризные растения содержат больше фосфора и калия [3]. Фосфор, в основном в форме полифосфатов, со значительной скоростью транспортируется гифами грибов в ткани растений. Гифы способны поглощать этот элемент из почвы за пределами обедненной ими прикорневой зоны. Микоризные грибы ассимилируют труднодоступные растениям фосфаты алюминия и железа [4]. В связи с этим возникает вопрос об изучении глубокого влияния микоризы

древесных растений на работу корневой системы и поглощение питательных веществ. К сожалению этот вопрос еще плохо проработан. Ранее известные работы во многом ограничивались изучением морфологии и архитектоники микоризованной корневой системы [5,6]. Актуальность вопроса обусловлена также тем, что использование микоризы как биологического способа увеличения продуктивности растений является более оправданным с экологической и экономической точек зрения, чем применение минеральных удобрений [7].

В задачу исследования входило определить изменения функциональной активности корней и минеральной продуктивности древесных растений при инокуляции их спорами эктомикоризного гриба *Amanita muscaria* L.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТА

Объектами исследования служили двухлетние сеянцы сосны обыкновенной (*Pinus silvestris* L.), лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.),

ели европейской (*Picea abies* L.), однолетние сеянцы яблони домашней (*Malus domestica* Borkh.) и дуба черешчатого (*Quercus robur* L.). Хвойные растения и дуб являются микотрофными видами [8,9]. Микоризация яблони эндомикоризными грибами рода *Endogone* положительно влияла на рост и химический состав яблони [10]. Практический выбор пород обусловлен тем, что сосна, ель и дуб являются важными лесообразующими породами Нижегородской области, лиственница перспективна для создания лесных культур, а яблоня – ценная плодовая культура.

Растения инокулировались спорами гриба мухомора красного – *Amanita muscaria* L. – образующего эктотрофную микоризу. Этот вид был выбран потому, что он является одним из самых распространенных видов агариковых грибов и важнейшим микоризообразователем в лесных экосистемах умеренной зоны, образуя микоризу с 26 видами хвойных и лиственных древесных растений из 9 родов, включая ель, сосну, лиственницу и дуб [11].

Растения выращивали в 2011 году в условиях микрополевого опыта в зоне широколиственных лесов центра Нижегородской области на серых лесных почвах со следующей агрохимической характеристикой: pH_{KCl} 5.5, содержание гумуса 1.72% и подвижных P_2O_5 и K_2O соответственно 216.3 и 114.7 мг/кг. Агрохимические характеристики определены по А.В. Петербургскому [12]. Растения по десять штук высаживали в полиэтиленовые пакеты, содержащие по 40 кг почвы. Пакеты были без дна, а посадка проводилась без нарушения почвенных горизонтов. Продолжительность опыта составила 110 суток. Схема опыта состояла из контрольного варианта без внесения спор, и четырех с внесением различных доз спор гриба – 1.08; 2.15; 4.32 и 8.64 миллиона спор на квадратный метр. Споры вносились в виде раствора медицинским шприцем в корневую зону растений. Их подсчет осуществлялся под микроскопом МБИ-6 при 160-кратном увеличении. За время опыта температура на 1.6 – 4.3°C превышала средние многолетние значения. Распределение осадков по месяцам было неравномерным – в июне, в период активного роста древесных растений, осадков выпало на 20 мм больше нормы, но в июле и августе осадков выпало существенно меньше средних многолетних значений (на 26.7 и 46.8 мм).

В конце опыта растения извлекались из почвы без повреждения корневых окончаний и поступа-

ли на детальный анализ в лабораторию. Анализировалось по десять растений по каждому варианту опыта, каждое из которых служило повторностью. В процессе обработки корневой системы с помощью лупы подсчитывалось количество поглощающих корневых окончаний с микоризой и без микоризы. Корневым окончанием считались один поглощающий корень без микоризы, одна простая микориза и каждое отдельное окончание в составе сложной микоризы. Рассчитывался показатель интенсивности микоризации – отношение числа микориз к сумме микоризованных и немикоризованных поглощающих корней [13]. Удельную активную поверхность корневой системы (УАПКС) получали по формуле боковой поверхности цилиндра. Чистую минеральную продуктивность (МП) корневой системы рассчитывали по В.М.Лебедеву [14]. Содержание азота и фосфора в пересчете на P_2O_5 в биомассе растений определяли по А.В. Петербургскому [12], калия в пересчете на K_2O - на пламенном фотометре.

Экспериментальный материал биометрически обрабатывался по Н.А. Плохинскому [15] с использованием Microsoft Excel. Различия между сравниваемыми вариантами считали достоверными при уровне доверительной вероятности $P < 0.05$.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Установлено, что в результате инокуляции различными дозами спор гриба мухомора красного на корнях экспериментальных растений развивалась микориза эктотрофного типа. У сеянцев сосны интенсивность микоризации достоверно возрастала при внесении спор в количестве 2.15 и 4.32 млн./м², у лиственницы – в количестве от 2.15 до 8.64 млн./м². У ели и дуба рост показателя наблюдался во всех вариантах с инокуляцией, а у яблони только при минимальной дозе. При этом интенсивность микоризации у сосны возрастала от 11.02 % в контроле до 19.34 % при дозе 4.32 млн./м² (в 1.75 раза), у лиственницы от 20.41 % в контроле до 41.78 % при дозе 4.32 млн./м² (в 2.05 раза), у ели от 12.28 % в контроле до 33.42 % при дозе 2.15 млн./м² (в 2.72 раза), а у дуба от 6.35 % в контроле до 20.51 % (в 3.23 раза) и яблони от 2.21% в контроле до 6.44 % (в 2.91 раза) при дозе 1.08 млн./м² соответственно. Таким образом, в 2011 году микориза мухомора красного лучше всех развивалась на корнях лиственницы, хуже всего у яблони. Тем не менее, относительный прирост интенсивности микоризации был наибольшим у дуба и яблони, которая характеризова-

лась наименьшими количественными значениями этого показателя.

Наличие микоризы влияло на изменения отношения активной поверхности корневой системы к абсолютно сухой массе растения (табл. 1). У сосны внесение спор в количестве 1.08 млн./м² достоверно увеличивало это отношение в 1.28 раза по сравнению с контролем, а внесение доз 4.32 и 8.64 млн./м² уменьшало в 1.50 раза. У лиственницы достоверное увеличение зафиксировано при дозах 1.08 и 4.32 млн./м² в 1.49 и 1.59 раза. У ели при дозах 1.08, 2.15 и 4.32 млн./м² отношение увеличивается в 1.16 – 1.55 раза, а при дозе 8.64 млн./м² уменьшается в 1.19 раза. У дуба при дозах 1.08 и 2.15 млн./м² увеличивается в 1.44 и 1.22 раза, а при дозах 4.32 и 8.64 млн./м² уменьшается в 1.57 и 1.71 раза. У яблони достоверное увеличение зафиксировано при дозах 1.08 и 8.64 млн./м² в 1.58 и 2.05 раза. Самый низкий уровень этого показателя в опыте имели дуб – от 0.8 до 1.98 см²/г и сосна – от 1.40 до 2.69 см²/г, а самый высокий ель – от 6.57 до 12.16 см²/г.

Удельная активная поверхность корневой системы, показывающая величину площади активной поверхности (см²), приходящуюся на 1 м длины корней, была самой низкой у сосны – от 0.91 до 1.32 см²/м и у дуба – от 1.03 до 1.49 см²/м. У лиственницы УАПКС составляла 2.48 – 3.28 см²/м, у ели 2.75 – 3.49 см²/м, у яблони 2.70 – 3.04 см²/м.

Отношение корневого потенциала к фотосинтетическому потенциалу характеризует функциональную активность корней. Изменения этого показателя у пород имели те же тенденции, что и отношение активной поверхности корней к абсолютно сухой массе растения. В опыте самой высокой функциональной активностью корней обладали яблоня – с коэффициентами от 0.11 до 0.26 и ель – от 0.09 до 0.15. Самой низкой сосна – с коэффициентами от 0.010 до 0.015. Активность у лиственницы составляла от 0.07 до 0.14, у дуба от 0.04 до 0.12.

Изменения функциональной активности корней пород не могли не сказаться на их по-

глодательной деятельности. Минеральная продуктивность растений в опыте характеризует эффективность корневой системы в поглощении элементов минерального питания. Она обратно пропорциональна отношению активной поверхности корневой системы к абсолютно сухой массе растения – это объясняется тем, что относительно большая поверхность поглощает одинаковое число элементов питания на ту же массу, что и меньшая поверхность.

Минеральная продуктивность по азоту у сосны достоверно возрастала при дозах 2.15, 4.32 и 8.64 млн./м² в 1.20 – 1.65 раза по сравнению с контролем, у лиственницы при дозах 1.08 и 4.32 млн./м² достоверно снижалась в 1.38 и 1.87 раза (табл. 2). У ели снижалась при дозах 1.08, 2.15 и 4.32 млн./м² в 1.33 – 1.80 раза, а при дозе 8.64 млн./м² возрастала в 1.16 раза. У дуба при дозах 4.32 и 8.64 млн./м² достоверно возрастала в 2.28 и 1.91 раза. У яблони достоверно снижалась при дозах 1.08, 2.15 и 8.64 млн./м² в 1.24 – 2.36 раза. Из всех культур в опыте самый высокий уровень минеральной продуктивности по азоту показал дуб – от 661 до 1631 мг/м² сутки, а самый низкий ель – от 71 до 149 мг/м² сутки, что в 9.3 – 10.9 раза ниже. Таким образом микориза стимулировала минеральную продуктивность у сосны, ели и дуба, а у лиственницы и яблони наоборот ее снижала. Лучшее всего МП стимулировалась у дуба с максимумом в 2.28 раза.

Достоверное увеличение минеральной продуктивности по калию (табл. 3) наблюдалось у сосны при дозах 2.15, 4.32 и 8.64 млн./м² в 1.21 – 1.43 раза по отношению к контролю. У лиственницы наблюдалось достоверное снижение при дозе 1.08 млн./м² в 1.28 раза, а при дозе 8.64 млн./м² увеличение в 1.39 раза. У ели при дозах 1.08 и 2.15 млн./м² достоверное снижение в 1.44 и 1.37 раза, а при дозе 8.64 млн./м² увеличение в 1.15 раза. У дуба при дозах 4.32 и 8.64 млн./м² достоверное увеличение в 2.43 и 2.28 раза, а у яблони достоверное снижение при дозах 1.08, 2.15 и 8.64

Таблица 1

Отношение активной поверхности корневой системы к абсолютно сухой массе растения, см²/г

Внесено спор, млн./м ²	Сосна	Лиственница	Ель	Дуб	Яблоня
Контроль (0)	2.10	7.75	7.85	1.37	4.63
1.08	2.69	11.54	12.16	1.98	7.34
2.15	1.92	8.13	11.62	1.67	5.73
4.32	1.40	12.32	9.11	0.87	5.78
8.64	1.40	6.04	6.57	0.80	9.48
НСР05	0.27	1.72	1.23	0.27	1.25

млн./м² в 1.18 – 2.12 раза. Различие пород по уровню минеральной продуктивности по калию такое же, как и по азоту – самый высокий уровень показывает дуб – от 306 до 995 мг/м² сутки, а самый низкий ель – от 36 до 60 мг/м² сутки (в 8.5 – 16.6 раза). Мы видим, что микориза стимулировала минеральную продуктивность по калию у сосны, лиственницы, ели и дуба, а у яблони, как и по азоту, наоборот снижала.

Изменения в минеральной продуктивности по фосфору (табл. 4) у сосны и дуба отмечены при тех же дозах, что и по азоту и калию – достоверный рост в 1.54 – 1.70 и в 2.03 – 2.15 раза по сравнению с контролем соответственно. У яблони отмечено снижение в 1.49 – 2.22 раза. У листвен-

ницы достоверное снижение при дозах 1.08 и 4.32 млн./м² в 1.30 и 1.38 раза, а у ели при дозах 1.08, 2.15 и 4.32 млн./м² в 1.29 – 1.72 раза. Самые высокие значения минеральной продуктивности по фосфору зафиксированы у дуба, а самые низкие у ели (в 5.9 – 9.4 раза).

Самый высокий уровень минеральной продуктивности по всем трем элементам питания у дуба среди всех пород обусловлен, во-первых, тем, что у него было самое низкое отношение активной поверхности корневой системы к абсолютно сухой массе растения, а, во-вторых, высокой биологической продуктивностью, то есть относительным увеличением первоначальной биомассы за время опыта.

Таблица 2

Минеральная продуктивность по азоту, мг/м² сутки

Внесено спор, млн./м ²	Сосна	Лиственница	Ель	Дуб	Яблоня
Контроль (0)	307	157	128	714	338
1.08	250	114	96	661	191
2.15	369	145	71	719	273
4.32	402	84	82	1631	323
8.64	507	170	149	1368	143
НСР ₀₅	62	27	14	205	50

Таблица 3

Минеральная продуктивность по калию, мг/м² сутки

Внесено спор, млн./м ²	Сосна	Лиственница	Ель	Дуб	Яблоня
Контроль (0)	145	77	52	409	254
1.08	120	60	36	306	168
2.15	176	91	38	399	215
4.32	180	64	51	995	222
8.64	207	107	60	932	120
НСР ₀₅	29	16	6	125	39

Таблица 4

Минеральная продуктивность по фосфору, мг/м² сутки

Внесено спор, млн./м ²	Сосна	Лиственница	Ель	Дуб	Яблоня
Контроль (0)	101	73	67	289	213
1.08	109	56	39	230	143
2.15	156	79	42	260	220
4.32	160	53	52	621	122
8.64	172	78	66	587	96
НСР ₀₅	24	14	6	79	32

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внесение четырех различных доз спор гриба мухомора красного приводило к развитию эктофитной микоризы: интенсивность микоризации достоверно увеличивалась у всех пород в опыте и была на самом высоком уровне у лиственницы, а на самом низком у яблони домашней. Наличие микоризы достоверно влияло на изменения функциональной активности корней и минеральной продуктивности растений. В опыте самой высокой функциональной активностью корней обладали яблоня домашняя и ель европейская, а самой низкой сосна обыкновенная. Микориза достоверно увеличивала минеральную продуктивность по азоту, калию и фосфору по отношению к контролю у сосны обыкновенной и дуба черешчатого. Самое высокое увеличение отмечено у дуба черешчатого – для азота максимум в 2.28, калия в 2.43 а фосфора в 2.15 раза. У лиственницы сибирской отмечено достоверное увеличение минеральной продуктивности по калию в 1.39 раза, а у ели европейской по азоту в 1.16 раза и по калию в 1.15 раза. Минеральную продуктивность достоверно снижалась у лиственницы сибирской по азоту в 1.38 – 1.87, по калию в 1.28 раза, по фосфору в 1.30 – 1.38 раза. У ели европейской по азоту в 1.33 – 1.80 раза, по фосфору в 1.29 – 1.79 раза, по калию в 1.37 – 1.44 раза. У яблони домашней по азоту в 1.24 – 2.36, по калию в 1.18 – 2.12, по фосфору в 1.49 – 2.22 раза. Снижение минеральной продуктивности происходило в тех вариантах опыта, где микориза достоверно увеличивала активную поверхность корней по отношению к абсолютно сухой массе растения и функциональную активность корней, так как относительно большая активная поверхность поглощает то же количество элементов питания на единицу массы растения, что и меньшая поверхность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селиванов И.А. Микотрофизм растений в лесной зоне / И.А. Селиванов. // Микориза и другие формы консортивных отношений в природе: сб. науч. тр. / Пермский государственный педагогический институт. — Пермь, 1977. — С. 5–26.
2. Лобанов Н.В. Микориза растений / Н.В. Лобанов. — М.: Издательство сельскохозяйственной литературы, журналов и плакатов, 1963. — С. 27–29.
3. Доросинский Л.М. Использование микроорганизмов в сельском хозяйстве. / Л.М. Доросинский. — М.: Сельхозиздат, 1962. — С. 96–98.
4. Емцев В.Т. Микробиология. / В.Т. Емцев, Е.Н. Мишустин. — М.: Дрофа, 2006. — С. 330–335.
5. Еропкин К.И. Мицелиальные чехлы и их взаимосвязь с формами микоризного окончания хвойных / К.И. Еропкин. // Микориза и другие формы консортивных отношений в природе: сб. науч. тр. / Пермский государственный педагогический институт. — Пермь, 1977. — С. 78–80.
6. Еропкин К.И. О взаимосвязи форм микоризных окончаний у хвойных / К.И. Еропкин // Микориза растений: сб. науч. тр. / Пермский государственный педагогический институт. — Пермь, 1979. — С. 61–77.
7. Данченко А.М. Инновации в современном лесном хозяйстве Томской области / А.М. Данченко, И.А. Бех, О.Б. Вайшла // Вестник Томского государственного университета. Биология. — 2010. — № 4. — С. 81–89.
8. Веселкин Д.В. Строение и микоризация корней сеянцев ели и пихты при изменении почвенного субстрата / Д.В. Веселкин // Лесоведение. — 2002. — №3. — С. 12–17.
9. Чураков Б. Н. Влияние плотности микориз на самосев дуба черешчатого в дубравах Ульяновской области / Б.Н. Чураков, Е.С. Лисов // Лесной журнал. — 2006. — №4. — С. 14–19.
10. Моссе Б. Влияние микоризы на рост и химический состав яблони / Б. Моссе // Микориза растений: сб. науч. тр. — М.: Издательство сельскохозяйственной литературы, журналов и плакатов, 1963. — С. 422–424.
11. Дудка И.А. Справочник миколога и грибника / И.А. Дудка, С.П. Вассер. — Киев: Наукова думка, 1987. — С. 322.
12. Петербургский А.В. Практикум по агрономической химии / А.В. Петербургский. — М.: Колос, 1968. — 336 с.
13. Селиванов И.А. Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза / И.А. Селиванов. — М.: Наука, 1981. — 232 с.
14. Лебедев В.М. Определение активной поверхности и минеральной продуктивности корневой системы плодовых и ягодных культур / В.М. Лебедев // Методика исследования и вариационная статистика в научном плодоводстве. — Мичуринск, 1998. — Т. 2. — С. 39–42.
15. Плохинский Н.А. Биометрия / Н.А. Плохинский. — М.: Изд-во МГУ, 1970. — 368 с.

Капустин Роман Васильевич — аспирант кафедры плодовоовощеводства, селекции и семеноводства Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии, e-mail: archidiskodon@mail.ru

Kapustin Roman V. — the postgraduate student of horticulture, plant breeding and seed production department, The Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, e-mail: archidiskodon@mail.ru