

Н. П. Охлопкова, науч. сотрудник;
В. В. Копытков, зав. сектором биорегуляции выращивания лесопосадочного материала
(Институт леса НАН Беларуси)

ОСОБЕННОСТИ ОБРАЗОВАНИЯ МИКОРИЗЫ НА КОРНЕВЫХ СИСТЕМАХ СЕЯНЦЕВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ПЕРИОД ВЕГЕТАЦИИ

The paper reports the results of an investigation into the developmental peculiarities of mycorrhizae on roots of Scotch pine seedlings of first year of growth. The study was done in a nursery of Korenevka Experiment Station of the Forest Institute of Belarus NAS. During three months' observations it has been found that on the average, the total weight of the seedlings increased 7,5-fold, total weight of their roots increased 10-fold, total length of the roots increased 2-fold and total number of roots per plant increased 4,5-fold. With time mycorrhizal density increased, on the average, by a factor of seven and ran to 36,4 mycorrhizae per 100 mm of conductive roots. The degree of mycorrhization in five-month-old seedlings was 3,9 points. The rate of mycorrhizal infection ran to 68%. As root systems developed and mycorrhizal density increased mycorrhizal endings were found to take on a forked shape. In time the proportions of suctorial endings (potential mycorrhizae) and real mycorrhizae increased 2,4- and 5,8-fold, respectively. Close correlation relationship was revealed between basic mycorrhization parameter values and root collar diameter, weight of the aboveground and subterranean parts and area of the root system of the plant.

Введение. Существующие в настоящее время виды хвойных растений являются облигатно микотрофными, т. е. осуществляют поглощение воды и минеральных веществ из почвы только в мутуалистическом взаимодействии с микоризными грибами [1–5]. В результате этого взаимодействия формируются специфические структуры, называемые эктомикоризами [6], при которой гриб оплетает покровную ткань окончаний молодых корней и проникает в межклетники их наружных слоев, образуя сеть Гартига.

Эктомикориза формируется на укороченных, всасывающих корневых окончаниях растений, реже – на ростовых корнях медленного роста [2, 3], при этом внешний вид корней видоизменяется. У растений с микоризованными корневыми системами отсутствуют корневые волоски. Часто микоризные окончания утолщены, являются более хрупкими и иначе окрашены, нежели проводящие корни и безмикоризные всасывающие окончания [1, 2]. С возрастом признаки внешнего и внутреннего строения микориз могут изменяться [3, 4].

Одним из прикладных направлений является изучение особенностей микоризообразования у сеянцев в лесных питомниках. Оценка успешности микоризообразования на корнях сеянцев хвойных пород по мнению Д. В. Веселкина [6] должна стать одной из процедур контроля качества посадочного материала.

Степень обилия и форм микориз на корнях сеянцев определяет биометрические параметры древесных растений. На степень же микоризообразования на корневых системах сеянцев большое влияние оказывают ряд факторов: агрохимический состав и обработка почвы, севооборот, использование удобрений, пестицидов и т. п. Однако агротехника выращивания поса-

дочного материала в лесных питомниках не в полной мере учитывает специфику микоризообразования [7].

Специфические условия, возникающие в лесных питомниках вследствие хозяйственных мероприятий, могут приводить к изменению состава и функциональной активности эктомикоризных грибов и подавлению микоризообразования.

В современной практике лесопитомнического дела России, Беларуси и других стран СНГ явлению микотрофности не уделяется должного внимания. Формирование и значение эктомикориз в лесных питомниках изучалось карельскими учеными под руководством В. И. Шубина [8]. За последние же десятилетия сообщения об микоризообразовании на корнях сеянцев древесных пород в питомниках единичны [9–14].

Целью наших исследований являлось изучение особенностей образования микоризы на корнях сеянцев сосны обыкновенной в первый год вегетации.

Актуальность исследований обосновывалась также необходимостью повышения качества сеянцев сосны при помощи стимулирования микоризообразования на их корнях путем внесения в почву различных компостов с целевыми добавками.

Работа проводилась в 2007 г. в рамках ГНТП «Управление лесами и рациональное лесопользование» по заданию 2.11 «Разработать и внедрить систему мер по повышению плодородия и оптимизации почвенно-экологических условий при выращивании стандартного посадочного материала в лесных питомниках».

Методика исследований. Исследования проводились в посевном отделении постоянного питомника Корневской ЭЛБ Института леса

НАН Беларуси. Выкопку семян в возрасте 1,5 и 5 месяцев проводили в июле – сентябре 2007 г. Камеральная обработка собранного материала заключалась в определении биометрических параметров роста семян сосны и морфологическом исследовании их корневых систем. Корни рассматривались под лупой с увеличением в 4 раза, и отмечались их размеры, окраска, характер ветвления, наличие или отсутствие корневых волосков, устанавливалось наличие микоризных окончаний. При наличии микориз на корнях растений определяли ее форму и цвет. Эктомикоризы классифицировали по форме: булавовидная, вильчатая, коралловидная. Описание динамики нарастания корневых систем семян сосны и изучение динамики формирования микоризных окончаний проводилась по К. И. Еропкину [4].

Для изучения микоризообразования на корнях семян сосны путем подсчета определяли: количество микоризных корней (проводящих), количество немикоризных корней (сосущих), количество микориз на всем растении, за которое принимали количество корней размером от 1 до 3 мм. Учитывая число микоризных окончаний на 100 мм длины корней, вычисляли плотность микориз, степень микотрофности и интенсивность микоризной инфекции по общепринятым методикам [3].

Связь биометрических параметров строения семян и микоризации их корневых систем исследовали методами математической статистики с использованием программы Excel и путем расчета значения коэффициентов корреляции с помощью программы Statistica.

Результаты исследований. Эктомикориза – это структура, возникающая из одного поглощающего корня, прикрепляющаяся к проводящему корню в одной точке, но часто имею-

щая несколько ветвей или кончиков – эктомикоризных окончаний [11].

Интегрированную оценку микоризообразовательного процесса на корнях семян можно получить при использовании нескольких оценочных параметров. Количество сосущих боковых окончаний на корнях указывает на потенциальные возможности образования микориз. Плотность микориз является показателем интенсивности микоризообразования и отражает взаимосвязь между мощностью развития корневой системы и реальным микоризообразованием.

Во всех проанализированных выборках нами не выявлено ни одного безмикоризного растения. Микоризы располагались по всей корневой системе семян, включая главный корень.

Анализ биометрических параметров надземных и подземных частей семян сосны на разных этапах развития (табл. 1) выявил большую вариацию между показателями растений одного возраста. За 3-месячный период наблюдений высота надземной части семян, диаметр корневой шейки и степень охвоенности растений повысилась в среднем в 1,8–3 раза. Общая масса семян возросла в среднем в 7,5 раз, а масса корней – в 10,8 раз. Общая масса корней семян в среднем увеличилась в 10 раз, суммарная длина корней – в 2 раза, а общее число корней на одном растении – в 4,5 раза.

Изучение динамики нарастания корневых систем семян сосны показало (табл. 2), что с течением времени произошли большие изменения в развитии корневых систем. Если у семян 1,5-месячного возраста отмечался главный корень и корень I порядка, то у 5-месячных семян выявлено наличие корней II порядка.

Таблица 1

Сравнительная характеристика биометрических параметров семян сосны на разных этапах развития в первый год вегетации

Параметры семян	Возраст семян, месяцев					
	1,5			5		
	M_{\min}	M_{\max}	$M \pm m_M$	M_{\min}	M_{\max}	$M \pm m_M$
Высота надземной части, см	3,2	12,6	5,0±0,40	5,6	12,2	8,8±0,38
Диаметр корневой шейки, мм	0,8	1,5	1,1±0,03	1,0	4,5	2,2±0,18
Степень охвоенности, см	0,6	3,2	2,0±0,13	2,7	9,4	6,1±0,36
Длина корневой системы, см	5,3	16,1	9,3±0,48	8,6	18,3	13,8±0,53
Ширина корневой системы, см	0,4	3,0	1,0±0,13	0,5	7,8	2,8±0,40
Площадь корневой системы, см ²	4,0	31,2	9,7±1,39	7,4	115,4	38,4±6,06
Масса семян, г:						
надземной части	0,06	0,51	0,25±0,02	0,25	4,57	1,72±0,21
корня	0,03	0,16	0,05±0,01	0,05	1,59	0,54±0,08
Общая масса семени, г	0,09	0,67	0,30±0,03	0,30	6,16	2,26±0,29

Сравнительная характеристика корневых систем сеянцев сосны на разных этапах развития в первый год вегетации

Параметры корневой системы сеянцев	Возраст сеянцев, месяцев					
	1,5			5		
	M_{\min}	M_{\max}	$M \pm m_M$	M_{\min}	M_{\max}	$M \pm m_M$
Общая масса всех корней сеянца, г	0,01	0,16	0,05±0,01	0,1	1,6	0,5±0,08
Суммарная длина всех корней, см	16,7	103,3	40,1±3,99	20,7	235,7	85,9±3,43
Количество корней, шт. на 1 растение						
до 1 мм (сосущие)	3	138	33,4±5,47	42	151	81,1±8,52
от 1 до 3 мм (микоризы)	17	119	51,3±5,46	73	811	296,1±37,53
3 мм и более (скелетные)	3	19	10,5±0,81	10	135	43,1±6,45
Общее число корней, шт. на 1 растение	32	270	94,1±10,12	98	1028	420,2±45,41
Количество корней I порядка, шт.	3	19	10,7±0,61	6	39	19,6±1,81
Количество корней II порядка, шт.	нет	нет	нет	1	69	15,8±4,02

Общая масса всех корней сеянцев в среднем увеличилась в 10 раз, их суммарная длина – в 2 раза, а общее число корней на одном растении – в 4,5 раза.

Изучение микоризообразования на корнях сеянцев сосны включало подсчет: количества немикоризных корней размером до 1 мм, количества микоризных корней размером от 1 до 3 мм, количества скелетных корней размером более 3 мм на всем растении.

На рисунке видно, что у сеянцев сосны в возрасте 5 месяцев происходит увеличение числа корней разных размеров: сосущие — в 2,4 раза, микоризные – в 5,8 раз, а скелетные – в 4,1 раза.

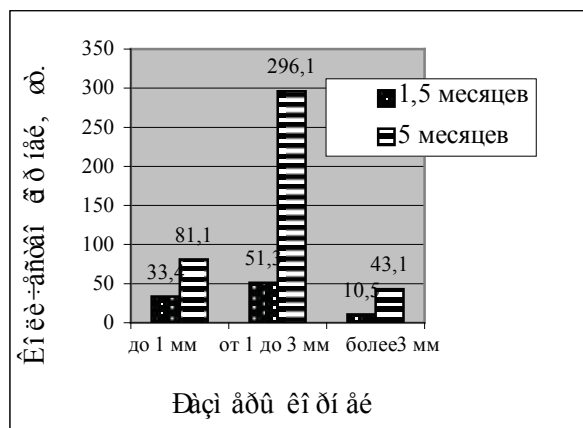


Рисунок. Количество корней разных размеров на корнях сеянцев сосны в первый год вегетации

С течением времени на корневых системах сеянцев сосны произошло увеличение числа

сосущих окончаний (потенциальных микориз) и реальных микориз.

Отношение между реальными и потенциальными микоризами отражает возможность микоризообразования у сеянцев лесных питомников. Этот показатель показывает резервы микоризообразования и возможные направления оптимизации этого процесса [12, 13]. В нашем случае, если у 1,5-месячных сеянцев показатель отношения между реальными и потенциальными микоризами составлял в среднем 1,5, то у сеянцев в возрасте 5 месяцев – 3,7. Происходит повышение интенсивности микоризообразования, однако угнетается развитие потенциальных микориз – сосущих корневых окончаний.

Интенсивность микоризообразования на корнях сеянцев определяли (табл. 3) путем расчета плотности микоризы (числа микориз на 100 мм корней), определения степени микорофности растения и интенсивности микоризной инфекции на корнях сеянцев сосны. Выявлено, что сеянцы в возрасте 5 месяцев характеризовались высокой степенью микотрофности корней (3,9 балла). Плотность микоризы на корнях с течением времени возросла в среднем в 7 раз и интенсивность микоризной инфекции увеличилась в 1,3 раза.

Исследование динамики формирования корневых окончаний и микориз у сеянцев сосны, приведенные в табл. 4, показали, что с развитием корневой системы сеянцев и повышением показателя плотности микоризы на корнях растений происходит и изменение формы микоризных окончаний.

Таблица 3

**Микоризообразование на корнях семян сосны
на разных этапах развития в первый год вегетации**

Параметры корневой системы семян	Возраст семян, месяцев					
	1,5			5		
	M_{\min}	M_{\max}	$M \pm m_M$	M_{\min}	M_{\max}	$M \pm m_M$
Плотность микориз, шт. на 100 мм корней	2,3	9,8	5,0±0,36	20,1	56,5	36,4±2,62
Степень микотрофности, балл	не определялась			3	5	3,9±0,19
Интенсивность микоризной инфекции, %	36,6	83,5	54,0±2,30	53,1	84,7	68,1±2,12

Таблица 4

**Динамика формирования корневых окончаний и микориз
у семян сосны в первый год вегетации**

Возраст семян, месяцев	Форма корневых окончаний, %			Плотность микоризы, шт. на 100 мм длины проводящих корней
	булавовидные	вильчатые	коралловидные	
1,5	98,9	1,1	не отмечена	5,0±0,36
5	89,1	10,9	не отмечена	36,4±2,62

Так, на корневых системах семян сосны 1,5-месячного возраста микориза представлена только булавовидной формой и имеет светлорыжевую окраску. С течением времени на корнях растений появляется более развитая форма микоризы – вильчатая, составляющая в среднем 11% от всей массы форм микориз и имеющая темно-коричневую окраску.

Математический анализ параметров роста и развития семян в первый год вегетации

(табл. 5, 6) показал тесную корреляционную зависимость между количеством микоризных корней на растении, плотностью микориз, степенью микотрофности и диаметром стволика у корневой шейки, площадью корневой системы и массой составных частей семян. В то время как показатели высоты надземной части и степени охвоенности побега не выявили такой зависимости с показателями микоризообразования на корнях исследуемых растений.

Таблица 5

Математический анализ параметров роста и развития 5-месячных семян сосны

Показатели	Количество повторностей	Среднее	Среднее квадратическое отклонение	Ошибка средней	Точность, %	Коэффициент вариации, %
Высота надземной части, см	50	8,79	1,69	0,38	4,3	19,3
Диаметр стебля у корневой шейки, мм	50	2,18	0,79	0,18	8,1	36,1
Степень охвоенности стебля, см	50	6,05	1,61	0,36	5,9	26,6
Площадь корневой системы, см ²	50	38,35	27,10	6,06	15,8	70,7
Масса надземной части, г	50	1,71	0,95	0,21	12,5	55,7
Масса корней, г	50	0,54	0,35	0,08	14,6	65,3
Общая масса растения, г	50	2,25	1,28	0,27	12,8	57,0
Суммарная длина всех корней, см	50	85,89	42,20	9,44	11,0	49,1
Количество сосущих корней, шт.	50	81,05	38,13	8,53	10,5	47,0
Количество микоризных корней, шт.	50	296,05	167,82	37,52	12,7	56,7
Плотность микориз, шт. на 100 мм корней	50	36,37	11,72	2,62	7,2	32,2
Степень микоризности корней, балл	50	3,90	0,85	0,19	4,9	21,3
Интенсивность микоризации, %	50	68,13	9,49	2,12	3,1	13,9

**Коэффициенты корреляции биометрических параметров
вегетативного роста и показателями микоризообразования на корнях
5-месячных сеянцев сосны ($p < 0,05$)**

Показатель	Высота надземной части, см	Диаметр стволика, мм	Степень охвоенности, см	Площадь корневой системы, см ²	Масса составных частей сеянца, г		
					надземной	корней	общая масса
Количество микориз	0,28	0,82*	0,29	0,84*	0,86*	0,87*	0,88*
Плотность микориз	0,07	0,53*	0,02	0,66*	0,56*	0,54*	0,56*
Степень миктрофности	0,11	0,51*	0,05	0,59*	0,57*	0,56*	0,58*

Примечание. * – коэффициент корреляции достоверен.

Заклучение. Изучение особенностей образования микоризы на корнях сеянцев сосны в первый вегетационный период показало, что с течением времени увеличивается оснащённость корневой системы органами, выполняющими поглощающие функции. Общая масса всех корней сеянцев за 3 месяца исследований в среднем увеличилась в 10 раз, суммарная длина всех корней – в 2 раза, а общее число корней на одном растении – в 4,5 раза.

Плотность микоризы на корнях с течением времени возросла в среднем в 7 раз, а интенсивность микоризной инфекции – в 1,3 раза и составила 68%. С развитием корневой системы сеянцев и повышением показателя плотности микоризы на корнях растений отмечено изменение формы микоризных окончаний.

С течением времени на корневых системах сеянцев сосны произошло увеличение числа сосущих окончаний (потенциальных микориз) в 2,4 раза и реальных микориз – в 5,8 раз. Выявлена тесная корреляционная зависимость между основными показателями микоризности сеянцев сосны первого года вегетации и диаметром стволика у корневой шейки, массой составных частей растения, площадью корневой системы.

Литература

1. Шемаханова, Н. М. Микотрофия древесных пород / Н. М. Шемаханова. – М.: АН СССР, 1962. – 375 с.
2. Лобанов, Н. В. Микотрофность древесных растений / Н. В. Лобанов. – М.: Советская наука, 1953. – 232 с.
3. Селиванов, И. А. Микосимбиотрофизм как форма консортивных связей в растительном покрове Советского Союза / И. А. Селиванов. – М.: Наука, 1981. – 232 с.
4. Еропкин, К. И. О взаимосвязи форм микоризных окончаний у хвойных / К. И. Еропкин // Микориза растений: респ. сб. науч. тр. – Пермь, 1979. – С. 61–77.
5. Каратыгин, И. В. Коэволюция грибов и растений / И. В. Каратыгин. – СПб: Гидрометеоиздат, 1993. – 115 с.
6. Веселкин, Д. В. Краткий обзор эктомикориз, классические представления / Д. В. Веселкин [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: <http://mycorrhiza.narod.ru>. – Дата доступа: 26.12.2007.
7. Эглите, А. К. Опыт работ по микоризации сосны / А. К. Эглите // Труды Конференции по микотрофии растений. – М.: АН СССР, 1955. – С. 194–203.
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. Шубин, В. И. Микотрофность древесных пород / В. И. Шубин. – Л.: Наука, 1973. – 263 с.
10. Веселкин, Д. В. Функциональное значение микоризообразования у однолетних сеянцев сосны и ели в лесных питомниках / Д. В. Веселкин // Вестник Оренбург. гос. ун-та. – 2006. – № 4, прил. – С. 12–18.
11. Веселкин, Д. В. Микоризообразование у сосны обыкновенной и ели сибирской в лесных питомниках / Д. В. Веселкин [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: <http://mycorrhiza.narod.ru>. – Дата доступа: 26.12.2007.
12. Бойко, Т. А. Микоризообразование сеянцев ели в лесных питомниках Пермского края / Т. А. Бойко [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: http://science-bsea.narod.ru/2007/leskomp_2007/boiko_mko.htm. – Дата доступа: 16.12.2007.
13. Бойко, Т. А. Особенности микоризообразования и роста сеянцев хвойных пород в лесных питомниках Пермского края: автореф. ... дис. канд. биол. наук: 03.00.05 / Т. А. Бойко; Перм. гос. ун-т. – Пермь, 2006. – 17 с.
14. Фомина, Н. В. Оценка микоризообразования сеянцев хвойных в лесопитомниках средней Сибири / Н. В. Фомина [Электронный ресурс]. – 2007. – Режим доступа: www.kgau.ru/science/konferens/2_2.doc. – Дата доступа: 10.01.2008.