

УДК 574.24:581.131:630.161.32*164.4:631.847.3

**ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ СПОРАМИ *AMANITA MUSCARIA*
НА МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ, ФОТОСИНТЕЗ
И БИОЛОГИЧЕСКУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ СЕЯНЦЕВ
LARIX SIBIRICA И *PINUS SYLVESTRIS***

Е. В. Лебедев

*Нижегородская государственная сельскохозяйственная академия
Россия, 603107, Н. Новгород, просп. Гагарина, 97
E-mail: proximus77@mail.ru*

Поступила в редакцию 27.12.10 г.

Влияние инокуляции спорами *Amanita muscaria* на минеральное питание, фотосинтез и биологическую продуктивность сеянцев *Larix sibirica* и *Pinus sylvestris*. – Лебедев Е. В. – Исследование реакции сеянцев лиственницы сибирской и сосны обыкновенной на различные концентрации спор мухомора красного, проведённое на уровне целого организма в микрополевым опыте на дерново-подзолистой почве подзоны южной тайги, показало, что инокуляция растений спорами гриба повышала биологическую продуктивность растений и депонирование углерода.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, лиственница сибирская, дерново-подзолистые почвы, микориза, мухомор красный, фотосинтез, минеральное питание, биологическая продуктивность, депонирование углерода.

Influence of *Amanita muscaria* spore inoculation on the mineral nutrition, photosynthesis and biological productivity of *Larix sibirica* and *Pinus sylvestris* seedlings. – Lebedev E. V. – Our study of the reaction of Siberian larch and Scots pine seedlings to various concentrations of red fly-agaric spores, carried out at the level of the whole organism in a microfield experiment on sod-podzolic soils of the southern taiga subzone, showed that inoculation of plants with red fly-agaric spores increased the biological productivity of the plants and carbon deposition.

Key words: scots pine, siberian larch, sod-podzolic soils, mycorrhiza, red fly-agaric, photosynthesis, mineral nutrition, biological productivity, carbon deposition.

ВВЕДЕНИЕ

Одним из путей повышения продуктивности древесных растений является коррекция их минерального питания. Однако внесение минеральных удобрений, несмотря на рост продуктивности растений, имеет ряд ограничений (Судачкова, 2001). Так, избыток азотного питания угнетает ростовые процессы (Papp et al., 1980), избыток фосфора снижает доступность железа, цинка и меди (Ben Brahim et al., 1996), а избыток калия ингибирует поглощение ионов Ca^{2+} и Mg^{2+} (Van Petersen, 1980). Также вымывание азота может привести к его миграции, загрязнению воды, почв и к опасному его накоплению в пищевых культурах (Salonen, 1980).

В связи с ограничениями техногенного улучшения факторов внешней среды и невозможностью регулирования ряда климатических факторов всё большее значение в культивировании растений, в том числе и в лесном хозяйстве, приобретают биологизация и экологизация этих отраслей (Жученко, 2001). Огромное значение

в минеральном питании древесных пород, которые на больших площадях удобряются крайне редко, имеет микориза, которая в естественных условиях прекрасно развивается вокруг корня и, охватывая большой объём почвы, делает доступными для растений элементы, далеко отстоящие от ризосферы (Tammi et al., 2001). Показано, что микоризация положительно влияет на рост большинства древесных пород (Garbaye, Le Tacon, 1986), улучшая условия не только их минерального питания, но и водный режим (Meуег, 1991). При этом микоризация проводится один раз, и количество гиф гриба только растёт с возрастом растений (Gardner, Malajczuk, 1988). В отличие от минеральных удобрений, микориза не стимулирует рост сорняков в питомниках и культурах (Walker et al., 1989), однако может применяться и совместно с азотными удобрениями (Kainulainen et al., 1996).

Одной из важных задач при практическом использовании микоризы является выделение наиболее эффективных грибов-симбионтов (Taylor, Alexander, 2005). Ведутся также работы по инокуляции грибом контейнерного посадочного материала (Repáč, 2006).

В настоящее время имеется довольно обширный материал по особенностям строения микориз, их видам и влиянию симбиоза на архитектуру корневых систем (Бойко, 2006). О реакции сеянцев лесных пород на симбиоз с грибом судили, как правило, по высоте, а реже – по массе растения (Весёлкин, 2006; Кгура, 2003). Количественные же данные по влиянию микоризации растений на физиологическую активность корневой системы и её связь с работой листового аппарата на уровне организма в литературе практически отсутствуют (Aleksandrowicz-Trzcin-ska, 1999).

Целью данной работы было изучение на уровне организма реакции сеянцев лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledebour, 1833) и сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*, Linnaeus, 1753) на инокуляцию различными дозировками спор мухомора красного (*Amanita muscaria* Fries, 1821). Задачи нашего исследования – получить количественные характеристики влияния дозы внесения спор *A. muscaria* на морфологию, поглотительную и функциональную активность корневой системы, фотосинтетическую деятельность листового аппарата и депонирование углерода у сеянцев *L. sibirica* и *P. sylvestris*, а также определить дозу спор, при которой эти породы характеризуются максимальной продуктивностью.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Объектами исследования служили однолетние сеянцы лиственницы сибирской (*L. sibirica*) и сосны обыкновенной (*P. sylvestris*). Растения выращивали в условиях микрополевого опыта в 2008 г. на дерново-подзолистой почве на северо-западе Нижегородской области в Сокольском районе в зоне хвойных лесов.

Эксперимент по каждой породе состоял из шести вариантов. В контрольных вариантах споры *A. muscaria* не вносились. В остальные варианты их вносили по 5.8, 11.6, 23.2, 46.4 и 92.8 млн м⁻². Растения высаживались по 8 штук в заглубленные полиэтиленовые пакеты без дна (вмещавшие 40 кг почвы) с соблюдением пространственной изоляции. Площадь питания каждого растения составила 100 см², что соответствует 1 млн штук га⁻¹. Поскольку в опыте моделировалось

воздействие спор гриба-микоризообразователя на сеянцы изучаемых пород в естественных условиях питомника, то почва на опытном участке, которой заполняли пакеты, не подвергалась стерилизации и содержала естественный фоновый состав грибов и микроорганизмов.

В опыте использовались споры гриба *A. muscaria*, полученные в предыдущем году. Подсчёт количества спор в единице объёма суспензии осуществляли под микроскопом МБИ-6. Инокуляция растений проводилась путем нормированного впрыскивания шприцем водной суспензии спор в корнеобитаемый слой. Вывод растений на заданные режимы проведён через 10 дней после появления на растениях первичных корешков. Опыт продолжался 120 суток. В конце эксперимента растения осторожно извлекались из почвы без нарушения корневых окончаний и поступали в лабораторию на детальный анализ. В каждом варианте проанализировали по 14 растений *Larix sibirica* и *Pinus sylvestris*. Поверхность хвои пород определялась по приведённым нами формулам (Бессчётнов, Лебедев, 2002). Чистую продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) определяли по А. А. Ничипоровичу (1955), энергетическую эффективность фотосинтеза (КПД ФАР) – по Х. Г. Тоомингу и Б. И. Гуляеву (1967), а долю содержания углерода в биомассе – по данным К. С. Бобковой и В. В. Тужилкиной (2000). Детальный анализ активной части корневой системы и минеральной продуктивности корней (МП) проведён по В.М. Лебедеву (1998). Об интенсивности микоризации судили по проценту микоризных корневых окончаний от общего количества активных корней (Весёлкин, 2006). Содержание азота, фосфора и калия в биомассе определяли по А. В. Петербургскому (1968). Биологическую продуктивность пород (БП) находили по относительному увеличению первоначальной массы растения. Биометрическая обработка экспериментального материала проведена по Б. А. Доспехову (1985) на персональном компьютере с использованием пакета прикладных программ MS Excel. Разницу между сравниваемыми вариантами считали статистически достоверной при значениях её, больших или равных $HC_{0,05}$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Внесение спор *A. muscaria* не оказало влияния на длину и диаметр активных корней сеянцев *L. sibirica* и *P. sylvestris* (табл. 1). Исключение составил вариант с внесением спор 11.6 млн m^{-2} , где длина активного корня у *L. sibirica* была выше, чем в контроле. Степень ветвления корневой системы *P. sylvestris* не изменялась достоверно при микоризации, но у *L. sibirica* этот показатель достоверно снижался относительно контроля при внесении 11.6 и 23.2 млн m^{-2} . Показатель удельной активной поверхности корневой системы у обеих пород достоверно не различался. В пределах опыта показатели длины активного корня и удельной активной поверхности корневой системы у *L. sibirica* были выше, чем у *P. sylvestris* в 1.14 – 1.90 и в 1.56 – 2.02 раза соответственно.

Определение интенсивности микоризации показало, что у *L. sibirica* и *P. sylvestris* в контроле были микоризными только 34 и 27% активных корней соответственно. При внесении спор во всех применяющихся в опыте концентрациях наблюдалось достоверное увеличение показателя в 2.03 – 2.44 раза у *L. sibirica* и в

ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ СПОРАМИ *AMANITA MUSCARIA*

2.37 – 2.93 раза у *P. sylvestris*. Достоверных различий между вариантами с микоризацией у обеих пород не было. Активная корневая система *L. sibirica* в пределах опыта была заселена микоризой больше, чем у *P. sylvestris* в 1.01 – 1.26 раза.

Таблица 1

Влияние инокуляции спорами *A. muscaria* на активную часть корневой системы *L. sibirica* (Лц) и *P. sylvestris* (С)

Внесено спор, млн м ⁻²	Длина акт. корня, мм		Диаметр акт. корня, мкм		Точек роста, шт. м ⁻¹		Удельная активная поверхность корне- вой системы, см ² м ⁻¹		Интенсивность микоризации, %	
	Лц	С	Лц	С	Лц	С	Лц	С	Лц	С
Контроль – 0	2.22	1.49	401	389	179	138	4.84	2.47	34	27
5.8	2.49	1.31	414	364	130	178	4.10	2.61	69	64
11.6	3.02	1.67	431	336	116	159	4.40	2.76	72	68
23.2	2.67	1.58	421	377	118	145	4.08	2.62	75	71
46.4	2.16	1.89	387	426	166	94	4.24	2.31	79	78
92.8	2.08	1.77	394	495	200	90	5.08	2.52	83	79
НСР _{0.05}	0.69	0.45	54	119	55	58	0.93	1.00	10	20

Целостность растения как системы обеспечивается функциональной связью листового и корневого питания, находящихся (применительно к условиям произрастания) в динамическом равновесии. Листовой аппарат и корневая система - две стороны единого процесса питания. О влиянии микоризы на функциональную активность листового аппарата и корневой системы судили по отношениям площади листового аппарата и активной части корневой системы к единице сухой массы растения (табл. 2).

Таблица 2

Функциональная и поглотительная активность корневой системы *L. sibirica* (Лц) и *P. sylvestris* (С) при инокуляции спорами *A. muscaria*

Внесено спор, млн м ⁻²	Поверхность хвои		Поверхность активных корней		КП ФП ⁻¹		Поглощено элементов, мг м ⁻² сутки ⁻¹					
	приходящаяся на единицу сухой массы растения, см ² г ⁻¹						N		P ₂ O ₅		K ₂ O	
	Лц	С	Лц	С	Лц	С	Лц	С	Лц	С	Лц	С
Контроль – 0	67.16	120.23	38.28	26.45	0.57	0.22	71	45	18	14	28	32
5.8	56.58	101.11	18.67	18.20	0.33	0.18	157	97	40	34	63	61
11.6	66.61	101.30	20.65	20.26	0.31	0.20	147	108	38	38	59	68
23.2	58.67	102.68	17.60	19.51	0.30	0.19	143	102	36	36	57	64
46.4	61.28	106.65	21.56	19.83	0.35	0.18	156	92	46	32	70	58
92.8	72.42	89.74	22.45	17.05	0.31	0.19	147	102	38	36	59	64
НСР _{0.05}	9.26	6.14	5.34	2.94	0.11	0.03	34	22	9	7	14	14

Внесение спор *A. muscaria* не повлияло на поверхность хвои, приходящуюся на единицу сухой массы растения у *L. sibirica*, кроме варианта с минимальной дозой спор, где показатель снижался относительно контроля. Данное отношение у *P. sylvestris* было максимальным в контроле и падало при внесении спор в 1.19 – 1.34 раза. Минимальное значение наблюдалось при максимальной дозе спор. В

пределах опыта это показатель у *P. sylvestris* был выше, чем у *L. sibirica* в 1.24 – 1.79 раза. Отношение же поверхности активных корней к единице сухой массы растения у обеих пород было максимальным в контроле и достоверно падало при внесении спор *A. muscaria* у *L. sibirica* в 1.71 – 2.18, а у *P. sylvestris* в 1.31 – 1.55 раза.

Функциональная связь корневой системы с фотосинтетическим аппаратом характеризуется отношением корневого потенциала (КП) к фотосинтетическому (ФП). Минимальная функциональная связь была в контрольных вариантах, где показатели КП ФП⁻¹ у пород были максимальными. Следовательно, у *L. sibirica* 1 м² активной поверхности корневой системы обслуживал 1.75 м², а у *P. sylvestris* – 4.55 м² поверхности хвои соответственно. Внесение спор привело к смещению динамического равновесия между поверхностями питания в сторону относительного роста фотосинтетического потенциала. Так, единица активной поверхности корней *L. sibirica* могла обслужить 2.85 – 3.33 м², а у растений *P. sylvestris* – 5.00 – 5.56 м² поверхности хвои. Растения *P. sylvestris* в пределах опыта имели относительно большую величину поверхности хвои, приходящейся на единицу сухой массы растения, чем *L. sibirica* при близких значениях активной поверхности корней, отнесённых к единице сухой массы растения, а следовательно, и более высокий (в 1.55 – 2.59 раза) показатель КП ФП⁻¹.

Изменения интенсивности микоризации, а также показателей функциональной активности корней при внесении спор *A. muscaria* отразились на минеральной продуктивности (МП) корневой системы изучаемых пород. Минимальное количество азота, фосфора и калия в расчёте на единицу активной поверхности корней в сутки поглощалось растениями в контроле. Микоризация увеличивала МП *L. sibirica* и *P. sylvestris* по азоту в 2.01 – 2.21 и в 2.04 – 2.40 раза, по фосфору – в 2.00 – 2.56 и в 2.29 – 2.71 раза, а по калию – в 2.04 – 2.50 и в 1.81 – 2.13 раза соответственно. Показатели МП каждой породы по конкретному элементу питания в вариантах с внесением спор достоверно между собой не различались. Сеянцы *L. sibirica* поглощали азот активнее в 1.36 – 1.70 раза, чем *P. sylvestris*. При этом обе породы поглощали близкие количества фосфора и калия.

Минимальная чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) у обеих пород была в контроле (табл. 3). Внесение спор приводило к росту ЧПФ в 1.14 – 1.44 раза у *L. sibirica* и в 1.23 – 1.63 раза у *P. sylvestris*. В условиях опыта *L. sibirica* характеризовалась в 1.64 – 2.45 раза большей фотосинтетической активностью, чем *P. sylvestris*. Энергетическая эффективность фотосинтеза и количество биомассы, накопленной единицей поверхности хвои за вегетацию, изменялись в пределах опыта у обеих пород аналогично ЧПФ.

Биологическая продуктивность сеянцев обеих пород достоверно повышалась по сравнению с контролем уже при минимальной дозе спор (5.8 млн м⁻²). Дальнейшее увеличение концентрации спор не приводило к статистически значимому росту показателя. Следовательно, внесение дозировок, больших, чем минимальная, нецелесообразно. В пределах опыта показатель различался в 1.57 – 1.77 раза у *L. sibirica*, а у *P. sylvestris* – в 1.34 – 1.50 раза. Сеянцы *L. sibirica* имели в пределах опыта большую биологическую продуктивность в 1.68 – 2.20, чем *P. sylvestris*. Количество депонированного углерода в расчёте на единицу ассимилирующей поверхности в день и за вегетацию изменялось аналогично ЧПФ. Сток углерода в

ВЛИЯНИЕ ИНОКУЛЯЦИИ СПОРАМИ *AMANTIA MUSCARIA*

расчёте на гектар был минимальным у обеих пород в контроле, а при инокуляции спорами *A. muscaria* увеличивался в 1.73 – 2.36 у *L. sibirica* и в 1.46 – 1.75 раза у *P. sylvestris*. Все варианты с внесением спор по каждой породе не имели между собой достоверных различий. Сеянцы *L. sibirica* в пределах опыта депонировали больше углерода, чем *P. sylvestris*, в 1.59 – 2.57 раза.

Таблица 3

Фотосинтез, энергетика, биологическая продуктивность (БП) и сток углерода у *L. sibirica* (Лц) и *P. sylvestris* (С) при инокуляции спорами *A. muscaria*

Внесено спор, млн м ⁻²	ЧПФ, г м ⁻² день ⁻¹		КПД ФАР, %		Биомасса за вегетацию, г м ⁻²		БП, раз		Депонировано углерода					
	Лц	С	Лц	С	Лц	С	Лц	С	г м ⁻² день		за вегетацию			
											г м ⁻²		т га ⁻¹	
	Лц	С	Лц	С	Лц	С	Лц	С	Лц	С	Лц	С	Лц	С
Контроль – 0	1.82	0.87	0.46	0.21	218	104	4.88	2.91	0.91	0.44	109	52	0.97	0.61
5.8	2.37	1.23	0.60	0.30	285	147	7.65	4.37	1.19	0.62	143	74	1.77	0.98
11.6	2.11	1.29	0.53	0.32	253	155	7.90	4.13	1.01	0.65	127	78	2.29	0.89
23.2	2.41	1.20	0.61	0.29	289	144	8.31	3.96	1.21	0.60	145	72	2.25	1.01
46.4	2.62	1.07	0.66	0.26	315	129	7.95	3.89	1.31	0.54	158	65	2.28	0.91
92.8	2.07	1.42	0.52	0.35	249	170	8.64	3.92	1.04	0.71	125	85	1.75	1.07
НСР _{0.05}	0.24	0.12	0.06	0.03	29	14	1.92	0.49	0.12	0.06	15	7	0.58	0.23

У сеянцев *L. sibirica* связь между ЧПФ и приростом абсолютно сухой массы сеянца была низкой положительной, а у *P. sylvestris* имела средние и высокие значения (табл. 4). Однако связь прироста сухой массы с фотосинтетическим потенциалом была прямой и высокой у обеих пород. Таким образом, в пределах каждого варианта *L. sibirica* увеличивала прирост сухой массы растений в большей степени за счёт роста фотосинтетического потенциала, чем за счёт повышения ЧПФ, т.е. экстенсивным путём, а *P. sylvestris* – за счёт и интенсификации фотосинтеза, и наращивания поверхности хвои. Именно ростом ЧПФ можно объяснить то, что, несмотря на снижение величины поверхности хвои, приходящейся на единицу сухой массы растения, у *P. sylvestris* в вариантах с внесением спор (а также у *L. sibirica* в варианте с минимальной микоризацией) наблюдался рост биологической продуктивности и стока углерода.

Таблица 4

Связи прироста сухой массы (ΔР) с ЧПФ и фотосинтетическим потенциалом (ФП), а также связь минеральной продуктивности (МП) с отношением КП ФП⁻¹ и активной поверхностью корней, приходящейся на единицу массы растения (Sk P⁻¹) у сеянцев *L. sibirica* (Лц) и *P. sylvestris* (С) при инокуляции спорами *A. muscaria*

Внесено спор, млн м ⁻²	ЧПФ-ΔР		ФП-ΔР		КП ФП ⁻¹ - МП		Sk P ⁻¹ - МП	
	Лц	С	Лц	С	Лц	С	Лц	С
Контроль – 0	0.220	0.767	0.910	0.993	-0.906	-0.682	-0.937	-0.752
5.8	0.173	0.714	0.907	0.984	-0.897	-0.737	-0.950	-0.860
11.6	0.351	0.871	0.933	0.985	-0.937	-0.558	-0.967	-0.831
23.2	0.148	0.786	0.907	0.932	-0.825	-0.905	-0.939	-0.945
46.4	0.210	0.670	0.953	0.991	-0.927	-0.938	-0.987	-0.955
92.8	0.312	0.801	0.963	0.928	-0.783	-0.892	-0.912	-0.988

Определение корреляций минеральной продуктивности с отношением корневого потенциала к фотосинтетическому и с отношением активной поверхности корней к единице сухой массы растения показало во всех вариантах опыта у обеих пород высокую отрицательную связь (см. табл. 4).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Внесение спор *A. muscaria* и образование микоризы приводило к смещению динамического равновесия между поверхностями питания сеянцев *L. sibirica* и *P. sylvestris* в сторону относительного снижения активной части корневой системы. В результате единица более компактной корневой системы стала способна активнее поглощать элементы питания. Повышение минеральной продуктивности способствовало росту фотосинтетической активности хвои. Общее улучшение характеристик листо-корневого питания дало возможность повысить темп накопления биомассы и сток углерода.

Исходя из полученных данных можно сделать следующие выводы.

1. При микоризации спорами *A. muscaria* у *L. sibirica* и *P. sylvestris* отмечен рост поглотительной и фотосинтетической активности, биологической продуктивности и стока углерода.

2. Растения *L. sibirica* увеличивали биомассу за счёт размера фотосинтетического потенциала, а *P. sylvestris* – также и за счёт роста чистой продуктивности фотосинтеза.

Инокуляция сеянцев *L. sibirica* и *P. sylvestris* на дерново-подзолистых почвах в зоне хвойных лесов Нижегородской области спорами гриба в количестве 5.8 млн на м² почвы повышала биологическую продуктивность растений и сток углерода. Дальнейшее повышение концентрации спор не вызывало статистически достоверного роста этих показателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Бессчётнов В. П., Лебедев Е. В. Влияние экологического потенциала Волго-Вятского региона на фотосинтез и биологическую продуктивность лесных пород // Проблемы регионального экологического мониторинга : материалы первой науч.-практ. конф. Н. Новгород : Изд-во Нижегород. с.-хоз. акад., 2002. С. 17 – 19.

Бобкова К. С., Тужилкина В. В. Содержание углерода и калорийность органического вещества в лесных экосистемах Севера // Экология. 2000. № 1. С. 69 – 71.

Бойко Т. А. Особенности микоризообразования и роста сеянцев хвойных пород в лесных питомниках пермского края : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Пермь, 2006. 19 с.

Весёлкин Д. В. Функциональное значение микоризообразования у однолетних сеянцев сосны и ели в лесных питомниках // Вестн. Оренбург. гос. ун-та. 2006. № 4. С. 12 – 18.

Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М. : Агропромиздат, 1985. 351 с.

Жученко А. А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы) : в 2 т. М. : Изд-во РУДН, 2001. Т. II. 708 с.

Лебедев В. М. Определение активной поверхности и минеральной продуктивности корневой системы плодовых и ягодных культур // Методика исследования и вариационная статистика в научном плодоводстве : сб. докл. Междунар. науч.-практ. конф. Мичуринск : Изд-во МГСХА, 1998. Т. 2. С. 39 – 42.

- Ничипорович А. А. О методах учёта и изучения фотосинтеза как фактора урожайности // Тр. ИФР АН СССР. 1955. Т. 10. С. 210 – 249.
- Петербургский А. В. Практикум по агрономической химии. М. : Колос, 1968. 336 с.
- Судачкова Н. Е. Физиолого-биохимические аспекты регуляции продуктивности лесов // Лесоведение. 2001. № 4. С. 32 – 37.
- Тооминг Х. Г., Гуляев Б. И. Методика измерения фотосинтетически активной радиации. М. : Наука, 1967. 144 с.
- Aleksandrowicz-Trzcinska M. The effect of fungicides on mycorrhized and non-mycorrhized seedlings of Scots pine. Pt. 1. Growth performance of seedlings // Folia Forest. Pol. Ser. A. 1999. № 41. P. 105 – 114.
- Ben Brahim M., Loustau D., Gaudillere J. P., Saur E. Effects of phosphate deficiency on photosynthesis and accumulation of starch and soluble sugars in 1-year-old seedlings of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait) // Ann. Sc. Forest. 1996. Vol. 53, № 4. P. 801 – 810.
- Garbaye J., Le Tacon F. Effets de la mycorrhization controlee apres transplantation // Rev. Forest. Fran. 1986. T. 38, № 3. P. 258 – 263.
- Gardner J. H., Malajczuk N. Recolonisation of rehabilitated bauxite mine sites in Western Australia by mycorrhizal fungi // Forest Ecol. Manag. 1988. Vol. 24, № 1. P. 27 – 42.
- Kainulainen P., Holopainen J., Palomäki V., Holopainen T. Effects of nitrogen fertilization on secondary chemistry and ectomycorrhizal state of Scots pine seedlings and on growth of grey pine aphid // J. Chemical Ecology. 1996. Vol. 22, № 4. P. 617 – 636.
- Krupa P. The Role of Ectomycorrhizal Fungi in Heavy Metal Polluted Areas // Pol. J. of Natural Sciences / Univ. Warminsko-Mazurskiego. Olsztyn, 2003. № 15. P. 629 – 636.
- Meyer U. Feinwurzelsysteme und Mykorrhizatypen als Anpassungsmechanismen in zentralamazonischen Überschwemmungswäldern – Igapo und Varzea : Dissertation // Hohenheim. 1991. Vol. IV. 230 p.
- Papp J., Hargitai L., Gyuro F., Hamori J., Papai I. Distribution of nitrogen forms pending on fertilization in soil plant relationships by Jonathan apple // Proc. 5th Intern. Coll. on the control of plant nutrition. Castelfranco Veneto-Treviso, 1980. Vol. 1. P. 203 – 211.
- Repáč I. Ectomycorrhiza formation and growth of *Picea abies* seedlings inoculated with alginate-bead fungal inoculum in peat and bark compost substrates // Forestry. 2006. Vol. 80, № 5. P. 517 – 530.
- Salonen K. Skogsgödsling i Findland. Biologiska resultat av gödstingsfösök pa fastmark i medelåriga och alder skogar // Tidsskr. skogbr. 1972. Bd. 80, № 2. P. 175 – 181.
- Taylor A. F., Alexander I. The ectomycorrhizal symbiosis : life in the real world // Mycologist. 2005. Vol. 19, № 3. P. 102 – 112.
- Tammi H., Timonen S., Sen R. Spatiotemporal colonization of Scots pine roots by introduced and indigenous ectomycorrhizal fungi in forest humus and nursery Sphagnum peat microcosms // Canad. J. Forest Res. 2001. Vol. 31, № 5. P. 746 – 756.
- Van Petersen O. Calcium, potassium and magnesium nutrition and their interactions in Cox's Orange apple trees // Sci. Hortic. 1980. Vol. 12, № 2. P. 153 – 161.
- Walker R. F., West D. C., McLaughlin S. B., Amundsen C.C. Growth xylem pressure potential, and nutrient absorption of loblolly pine on a reclaimed surface mine as affected by an induced *Picolithus tinctorius* infection // Forest Sc. 1989. Vol. 35, № 2. P. 569 – 580.