

文章编号: 1001-1498(2000) 03-0249-08

外生菌根提高板栗苗木抗旱性能及其机理的研究*

吕全¹, 雷增普²

(1. 中国林业科学研究院森林生态环境与保护研究所, 北京 100091;

2. 北京林业大学森林资源与环境学院, 北京 100083)

摘要: 苗木菌根化能够提高对干旱胁迫的抵御能力。本试验证明菌根技术具有提高板栗苗木抗旱性能的作用: 提高苗木束缚水含量 12.08% ~ 57.49%; 在干旱胁迫下叶片推迟 24 ~ 43.2 h 出现萎蔫, 重新复水后提前 4.8 ~ 28.8 h 恢复正常, 萎蔫系数降低 21.95% ~ 58.04%, 有效光合强度提高 3.84% ~ 230.72%。菌根化提高宿主耐旱力的机理部分在于菌根化能影响到植物体内部的组织结构变化: 叶肉质化程度提高 0.09% ~ 7.88%, 比叶面积增大 2.67% ~ 18.83%。这种组织结构上的变化进而影响到生理特性的变化: 叶保水力增大, 水分饱和和亏缺降低 5.59% ~ 29.61%。叶肉质化程度、比叶面积和叶保水力首次应用在菌根研究中。另外, 正常情况下高于对照的蒸腾速率(用气孔导度及气孔阻力反映)在干旱胁迫下降为低于对照的水平。同时接种菌根能提高苗木在正常情况下的水分有效利用率(7.89% ~ 79.78%)及干旱胁迫下的水分有效利用率(4.78% ~ 63.89%)。游离脯氨酸含量在对照体内迅速增加(50.54%), 表明此时对照处于缺水状态, 而菌根化苗仍未或只是轻微地感受到干旱胁迫。综合以上多种因素, 美味牛肝菌、红绒盖牛肝和绵毛丝膜菌为最优的抗旱菌种。

关键词: 外生菌根; 板栗; 抗旱性能

中图分类号: S718.81

文献标识码: A

板栗(*Castanea mollissima* Blume)作为我国山区一种重要的经济树种,其生长发育受着山区干旱及贫瘠的土壤生态环境限制。应用菌根技术克服这种不良环境对板栗的胁迫,促进板栗优质高产,具有十分广阔的前景。菌根化壳斗科(Fagaceae)树种抗旱性的研究较早就有报道^[1]。外生菌根(*Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coke et Couch)能促进栎属(*Quercus*)植物的生长,提高蒸腾速率,减小土壤—植物之间的液流阻力,从而起到增强苗木抗旱性的作用^[2~4]。应用菌根技术提高苗木抗旱性能,培育优质壮苗是山区遭受干旱胁迫的板栗健康生长的前提保障。本文通过对板栗育苗中应用菌根技术的系统研究,包括菌种的分离、菌剂的制备、抗旱表现及其机理等几个方面的研究,根据效益的综合评价,筛选出3种抗旱的优良菌种,为生产实践推广使用提供参考和理论依据。

收稿日期: 1999-10-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(39770617)

作者简介: 吕全(1973-),男,内蒙古四子王旗人,硕士。

* 中国科学院微生物研究所黄永青博士帮助鉴定菌种,试验过程中得到北京林业大学贺伟老师的指导,以及怀柔县沙峪乡林果站站长王晓军先生在野外工作中的大力支持,在此谨致谢意。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

1.1.1 菌剂制备 林场定点、定期调查辽东栎(*Quercus liaotungensis* Koidz.)林,通过土壤剖面观察确定为栎树菌根菌后,采回新鲜子实体进行组织分离并纯化得到 5 种菌种(表 1),保存于试管斜面上。利用 PDA 培养基平板培养二级菌种,然后再在草炭土、玉米粉按 4 : 1 混和、每千克加两片复合维生素的基质上进行菌根菌种三级扩大培养,制作菌剂。

表 1 供试菌根菌

代 号	菌 种	来 源
B. e	美味牛肝菌 <i>Boletus eduli</i> Bull. Ex Fr.	北京林业大学
X. c	红绒盖牛肝 <i>Xerocomus chrysenteron</i> (Bull. Ex Fr.) Quel.	北京林业大学
C. s	绵毛丝膜菌 <i>Cortinarius sublanatus</i> (Sow.) Fr.	子实体分离
463	丝膜菌属一种 <i>Cortinarius</i> sp.	子实体分离
241	豹斑口蘑 <i>Lepista personata</i> (Fr. Ex. Fr.) W. G. Smith	子实体分离
228	齿菌属一种 <i>Hydnum</i> sp.	子实体分离
455	牛肝菌一种 <i>Boletus</i> sp.	子实体分离
P. t	彩色豆马勃 <i>Pisolithus tinctorius</i> (Pers.) Coke et Couch	中国林科院菌剂产品

1.1.2 试验苗培育 板栗实生苗的培育选用怀柔县沙峪乡的板栗燕红品种种子,冬天沙藏催芽处理之后,分别进行容器及大田育苗。沙藏后种子在 3 月中旬播于育苗箱中,以蛭石、珍珠岩(1 : 1)混合为基质,子叶期移入育苗营养钵中,基质为土壤、草炭土、砂子按体积比(3 : 2 : 1)混合,该基质事先用 1% 福尔马林浇灌消毒,容器为黑色塑料营养袋。在北京市怀柔县沙峪乡的新开垦圃地整做苗床,于 3 月中旬播种育苗,土壤未作任何消毒处理。

1.1.3 接种方法 营养钵苗及大田苗均采用 2~3 月生苗进行接种处理。营养钵苗每容器接种 5 g,在距苗 5 cm 处打 5 cm 深的孔,将菌剂搓碎施入孔中,覆土;大田苗每小区接种 125 g,于苗木两侧 5 cm 处开 10 cm 深的沟,菌剂均匀撒入,覆土。对照用同样方法接入等量菌剂基质。

1.2 试验设计方案

室内试验(营养钵苗)采用单因子对比随机区组排列设计方法,每小区 8 株苗,每处理重复 3 次;田间(大田苗)布置按随机区组排列,每小区 1.5 m × 1.5 m,小区间设 1.5 m × 1.5 m 隔离带,每处理重复 3 次。

1.3 测试指标及方法

1.3.1 菌根的形成 徒手制作菌根切片观察菌根结构、菌套厚度等,目测法测定菌根侵染率、侵染强度^[5]。

1.3.2 有效光合作用,水分利用率,气孔传导和气孔阻力 用 Li-6200 便携式光合作用仪直接测定。

1.3.3 自由水及束缚水 据公式计算:自由水 = (鲜质量 - 风干质量) / 鲜质量,束缚水 = (风干质量 - 烘干质量) / 鲜质量。

1.3.4 水分饱和亏缺(WSD) 将鲜叶称量后用蒸馏水浸泡 24 h,然后称饱和鲜质量并用剪纸称量法测叶面积,再在 105 ℃ 下烘 8 h 称干质量,据公式计算:WSD = (饱和鲜质量 - 原始鲜

质量)/(饱和鲜质量-干质量)×100%。

1.3.5 叶保水力 取鲜叶后室内自然干燥(温度 25 ± 5 , 空气相对湿度 $75\% \pm 10\%$), 定时称量直至基本恒重, 计算每一时刻累计失水量占总水量的百分比。

1.3.6 叶肉质化程度(LSE)和比叶面积(SLA) 取鲜叶后分别测定叶鲜质量、饱和鲜质量及叶面积, 根据公式计算:

$$\text{LSE} = \frac{\text{叶饱和含水量(g)}}{\text{叶面积(dm}^2\text{)}} \quad \text{SLA} = \frac{\text{叶表面积(dm}^2\text{)}}{\text{叶鲜质量(g)}}$$

1.3.7 游离氨基酸含量 使用氨基酸自动分析仪(柱后衍生系统)测定, 色谱条件: 分离柱: 氨基分析专用阳离子交换柱(0.4 cm × 30 cm); 柱温: 62 ; 检测器: M470 荧光检测器($\text{ex}: 338 \text{ nm}; \text{em}: 425 \text{ nm}$); 流率: $0.4 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$; 柱后效应泵流率: $0.8 \text{ mL} \cdot \text{min}^{-1}$ 。

2 结果与分析

2.1 板栗外生菌根的形成

经接种, 板栗幼嫩根系(营养根)形成了典型的外生菌根结构。不同菌种形成的菌根菌套厚度有明显差异(表2)。苗木菌根化处理能明显提高菌根的形成数量(侵染率及侵染强度), 表明菌剂的制备及接种方法都是成功的。菌根侵染率较高的处理同时也有较高的侵染强度, 进一步说明苗木菌根化处理能充分促进菌根的形成, 且菌种不同, 与板栗苗木共生合成菌根的能力不同。各种菌剂与板栗苗形成菌根的能力由强到弱可归纳为 X.c > B.e > C.s > 463 > P.t > 241 > 228 > 455^[6]。

表2 菌根化板栗苗菌根的菌套厚度

								μm
代号	X.c	B.e	463	C.s	P.t	241	228	455
菌根菌套厚度	23.13	20.63	20.00	18.75	17.75	13.75	10.75	8.75

2.2 菌根化对板栗苗叶片萎蔫及复水时间的影响

从营养钵苗的各个处理中随机抽取5株苗, 浇足水后自然干燥处理, 早晚进行观察, 记载每株苗第一片叶子出现萎蔫的时间, 计算每一处理叶片的萎蔫时间(表3)。可以看出, 菌根化处理无一例外地延长了苗木的萎蔫时间, B.e和X.c处理在第172.8h第1对叶子出现萎蔫, 而对照CK在第129.6h便出现了萎蔫现象。

表3 菌根化板栗苗的叶片出现萎蔫所需时间

									h
代号	X.c	B.e	C.s	463	P.t	241	228	455	CK
萎蔫时间	172.8	172.8	163.2	153.6	153.6	158.4	168	153.6	129.6

第1对叶子出现萎蔫之后每个营养钵浇水300 mL, 使苗木恢复正常, 记载叶片重新挺展的时间, 计算每个处理的复水时间(表4)。可以看出菌根化苗木比对照基本上都有较短的复水时间, 最短的处理B.e苗比对照提前28.8h恢复了正常。菌根化苗能尽快地从干旱胁迫中恢复正常。

表 4 菌根化板栗苗萎蔫后的复水时间

h

代 号	X. c	B. e	C. s	463	P. t	241	228	455	CK
复水时间	43. 2	38. 4	57. 6	62. 4	57. 6	57. 6	48. 0	72. 0	67. 2

2. 3 菌根化对板栗苗萎蔫系数的影响

上述重新恢复正常的板栗苗继续进行自然干燥处理,待出现永久萎蔫时测定其萎蔫系数(表 5)。可以看到,菌根化苗比对照都有较低的萎蔫系数,降低幅度为 21. 95% ~ 58. 04%。

表 5 菌根化板栗苗的萎蔫系数

代 号	X. c	B. e	C. s	463	P. t	241	228	455	CK
萎蔫系数	0. 022 8	0. 019 6	0. 021 9	0. 034 5	0. 029 9	0. 025 4	0. 020 4	0. 036 4	0. 046 7

2. 4 菌根化对板栗苗叶片含水量的影响

对菌根化苗进行叶片含水量的测定,得到结果如表 6。可以看出,通过菌根化处理可以不同程度地提高苗木的自由水、束缚水及总含水量,其中尤以束缚水含量提高最为显著,如 X. c 处理比对照提高 57. 49% 之多,另外束缚水 自由水的比例较对照也有很大程度的提高。

表 6 菌根化处理苗叶子的含水量

代号	自由水/ %	束缚水/ %	总含水量/ %	束·自
X. c	52. 45	3. 26	55. 71	0. 062
B. e	51. 82	2. 78	54. 60	0. 054
C. s	49. 16	2. 74	51. 90	0. 056
463	53. 76	2. 52	56. 28	0. 047
P. t	44. 52	2. 69	47. 21	0. 060
241	51. 09	2. 63	53. 72	0. 051
228	52. 69	2. 43	55. 12	0. 046
455	50. 41	2. 32	52. 73	0. 046
CK	50. 78	2. 07	52. 85	0. 041

2. 5 干旱胁迫下菌根化苗的有效光合作用

对正常苗进行有效光合作用的测定之后,采用自然干燥处理 6 d 再进行同样指标的测定,结果(表 7)看出,菌根化处理的苗木在干旱胁迫下比对照有更高的有效光合作用,其中 X. c 处理比对照高出 230. 72%。干旱胁迫能够降低苗木的有效光合作用^[7,8],同时菌根化处理在干旱胁迫下比正常供水时能更为有效地提高苗木的有效光合作用,如 X. c、B. e、C. s 及 463 处理在正常情况下有效光合作用分别比对照提高 64. 25%、89. 42%、32. 33% 及 23. 25%^[6];而在干旱胁迫下,比对照提高 230. 72%、97. 38%、78. 01% 及 74. 00%。当水分供应充足时,菌根化苗和对照苗有效光合作用的差别是由其它方面的因素引起的^[6];而干旱胁迫下,这种差别既由叶绿素、矿质营养等因素的差异造成,又由水分供应的差异造成。菌根化苗由于菌根扩大了根系的吸收面积等有利因素使得苗木体内并不真正缺水,而对照则处于缺水状态,于是导致了有效光合作用差异的加剧。

表 7 干旱胁迫下苗木的有效光合作用

 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$

代 号	X. c	B. e	C. s	463	P. t	241	228	455	CK
有效光合作用	1. 895	1. 131	1. 020	0. 997	0. 554	0. 717	0. 808	0. 959	0. 573

2. 6 菌根化对板栗苗叶保水力的影响

叶保水力通常用来表示树木叶组织抗脱水的能力,单位时间内失水量越多,保水力越差,反之保水力则越强^[9]。表 8 表明在室内自然干燥条件下不同处理的离体叶在不同时间的失水

情况。可以看出, X. c、B. e、463、P. t、241、228 处理在单位时间内失水都低于对照, 表明这些菌根化处理的苗木都较未菌根化处理的苗木有较强的保水力, 而 C. s 与对照的保水力曲线几乎有相同的走向, 表明两者保水能力基本相同, 455 则在单位时间内的失水量高于对照, 其保水力较对照要弱。

植物产生萎蔫现象及达到永久萎蔫的时间与叶片保水力有着直接关系。一般来说, 叶片保水力强的植株, 在相同条件下发生萎蔫及永久萎蔫的时间都要比叶片保水力弱的植株晚, 其萎蔫系数要小。将表 8 与表 3、5 结合来看, 确实反映出叶片保水力对发生萎蔫的时间及萎蔫系数的这种作用。但也有例外的情形, C. s 处理的菌根化苗叶片保水力与对照并没有多少区别, 可是其萎蔫出现时间及萎蔫系数均反映出该处理较对照有更高的耐旱力。可见叶保水力虽然对苗木的抗旱性有着至关重要的影响, 但并不是决定性作用因素, 苗木的抗性还受其它因素的影响。

表 8 各处理与对照的累计失水率

时间/h	X. c	B. e	C. s	463	P. t	241	288	455	CK
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	34.37	33.54	43.03	40.88	26.15	37.62	41.33	51.83	45.09
8	44.34	42.52	54.23	51.96	39.67	48.18	51.40	61.48	55.49
12	59.45	55.55	68.80	66.81	59.11	62.52	64.70	73.02	68.78
24	84.49	80.98	87.15	89.22	87.75	85.38	89.02	89.77	87.50
36	91.76	91.15	93.28	94.49	91.37	91.71	94.23	93.91	93.15
48	92.51	93.63	93.75	94.65	93.49	91.88	94.32	94.20	94.01
72	93.75	94.89	94.88	95.81	94.78	93.06	95.57	95.18	95.21

表 6 反映出的叶片含水量与保水力也有直接关系, 束缚水含量越高, 则其保水力越强, 不过也有例外情形。

2.7 菌根化对板栗苗叶水分饱和和亏缺值(WSD)、叶肉质化程度(LSE)和比叶面积(SLA)的影响

从表 9 可以看出菌根化处理可以不同程度地降低树木叶水分饱和和亏缺值, 提高叶肉质化程度, 降低比叶面积。各种处理降低水分饱和和亏缺的能力由强到弱依次是 B. e > C. s > X. c > P. t > 463; 增加叶肉质化程度的能力依次是 X. c > B. e > 463 > C. s > P. t > 455; 降低比叶面积能力依次是 C. s > B. e > 241 > X. c > 228 > P. t > 455 > 463。

叶肉质化程度的提高有助于叶片含水量的增加。结合表 6 看, 菌根化处理提高了苗木的叶肉质化, 同时也提高了自由水及束缚水的含量, 进而能够延长植株出现萎蔫的时间和降低萎蔫系数。

表 9 菌根化苗木叶水分饱和和亏缺、肉质化程度和比叶面积

代号	水分饱和和亏缺值/%	叶肉质化程度/(g · dm ⁻²)	比叶面积/(dm ² · g)
X. c	30.14	1.478 6	0.683 4
B. e	26.81	1.463 0	0.631 2
C. s	27.58	1.418 2	0.601 3
463	34.06	1.429 8	0.721 0
P. t	33.79	1.378 6	0.719 0
241	38.19	1.363 8	0.671 5
228	39.44	1.325 5	0.697 0
455	35.96	1.371 8	0.720 7
CK	38.09	1.370 6	0.740 8

2.8 干旱胁迫对菌根化苗蒸腾作用的影响

对正常苗及自然干燥处理 6 d 的菌根化苗进行气孔导度及气孔阻力的测定, 结果表明(表 10), 干旱胁迫能够降低苗木的气孔导度, 增加气孔阻力。在正常供水情况下, 菌根化处理的苗木比对照普遍都有较高的气孔导度和较低的气孔阻力, 也就是说菌根化处理增加了苗木的蒸腾速率, 这无疑对苗木的生长具有促进作用。自然干燥之后, 大多数处理的菌根化苗都有较对照低的气孔导度, 有个别高; 大多数处理的气孔阻力较对照高, 有个别低。这一结果表明, 菌根化处理能降低干旱胁迫下苗木的蒸腾作用, 从而有利于植物度过这种逆境。几种菌种处理降低蒸腾作用的能力由强到弱依次是 288> B. e> 463> P. s> C. s> 455, X. c 和 241 处理并不能降低蒸腾速率, 但并不等于说这 2 种处理下的苗木抗旱能力反而减弱。也许由于菌根增强了水分吸收能力, 使得苗木体内并不处于真正意义上的干旱状态。

菌根化处理能够降低蒸腾作用, 部分原因在于菌根化降低了苗木的比叶面积, 发生蒸腾的蒸发面积减小, 蒸腾作用随之降低。从表 10 中可以找到这一规律(X. c 和 C. s 例外)。

菌根化处理能够降低蒸腾作用, 部分原因在于菌根化降低了苗木的比叶面积, 发生蒸腾的蒸发面积减小, 蒸腾作用随之降低。从表 10 中可以找到这一规律(X. c 和 C. s 例外)。

2.9 干旱胁迫对菌根化苗水分有效利用率的影响

对正常苗及随后 6 d 自然干燥处理苗进行水分有效利用率的测定, 得到结果(表 11)可见, 干旱胁迫增加了苗木的水分有效利用率, 这也是植物抵抗干旱胁迫的一种自卫反应。无论在正常情况还是干旱胁迫下, 菌根化都可以明显提高 WUE 值。各处理在正常条件下的水分有效利用率由高到低依次是 B. e > X. c > P. t > 463 > C. s > 241 > 228 > 455, 干旱胁迫下依次是 B. e > 228 > C. s > 463 > 241 > P. t > X. c > 455。

水分有效利用率的提高不但有助于苗木抗旱性的增加, 而且在结束干旱处理时表现出能尽快地脱离干旱胁迫, 尽快地表现出正常生长。结合表 4 的菌根化处理缩短苗木的复水时间, 可以推断出, 菌根化苗在比对照有更快的吸水速率的基础上, 由于提高了水分有效利用率, 使得菌根化苗在即使是吸收少量水分的时候也能恢复正常生长。

2.10 干旱胁迫对菌根化苗游离脯氨酸含量的影响

经过 6 d 的自然干燥胁迫, 对 B. e 处理苗与对照苗的叶子进行了游离氨基酸的测定, 得到游离脯氨酸的含量: B. e 处理为 $46.89 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, CK 为 $70.59 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。对比 B. e 有明显的增加, 表明干旱处理之后对照苗积累了大量的游离脯氨酸, 其体内处于较 B. e 处理缺水的状态。这一点充分证明了菌根菌能够提高植物的水分吸收, 从而以一种“不缺水的状态”度过干

表 10 干旱处理前后菌根化苗气孔导度和气孔阻力的变化

代号	气孔导度/ ($\text{mol}(\text{H}_2\text{O}) \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$)		气孔阻力/ ($\text{m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{mol}^{-1}(\text{H}_2\text{O})$)	
	正常苗	干旱苗	正常苗	干旱苗
X. c	0.518 1	0.207 8	0.765 4	1.895 3
B. e	0.421 0	0.118 4	0.730 9	3.250 1
C. s	0.785 5	0.163 8	0.498 9	2.365 5
463	0.495 2	0.128 5	0.800 4	3.259 0
P. t	0.328 1	0.158 0	0.592 0	2.487 6
241	0.408 3	0.237 1	0.984 2	1.636 9
228	0.673 4	0.111 8	1.184 5	3.453 3
455	0.537 6	0.172 6	0.926 9	2.374 0
CK	0.344 4	0.189 3	1.122 4	2.123 8

表 11 干旱处理前后菌根化苗水分有效利用率的变化

代号	利用率的变化				%
	正常苗	比对照增加	干旱苗	比对照增加	
X. c	78.61	53.90	82.20	4.78	
B. e	91.83	79.78	128.57	63.89	
C. s	61.28	19.97	106.47	35.72	
463	64.95	27.15	103.34	31.73	
P. t	71.54	40.05	99.83	27.25	
241	58.23	14.00	101.33	29.17	
228	55.11	7.89	113.61	44.82	
455	45.97	- 10.00	69.13	- 11.88	
CK	51.08	-	78.45	-	

旱胁迫。

3 结 论

菌根提高植物抗旱性的机制传统上都认为是, 菌根真菌在土壤中具有庞大的菌丝网, 可以增大根系的吸收面积, 降低土壤与植物之间的液流阻力(R_{s-p})^[3], 促进根系对水分的吸收, 而且菌套还能防止根系内水分的丧失, 从而改善寄主植物的水分状况。这种作用尤其在土壤水分胁迫下表现得更为明显, 可以避免或减缓植物体内水分胁迫的发展^[10]。本研究还进一步表明接种菌根菌后苗木的各项生理指标产生了变化, 进而这种变化直接改变植物体本身的水分特性。菌根菌能促进植物生长, 增加多种营养元素的吸收, 从而增大叶肉质化程度、减小比叶面积; 这种生长上的变化进一步提高束缚水含量、增强保水力; 菌根菌作用下叶绿素含量增高, 净光合速率增大, 叶片气孔导度减小阻力增大, 从而减小蒸腾作用, 最终提高苗木的水分有效利用率; 菌根菌处理降低了水分饱和和亏缺, 从而使植物感受不到或只是轻微感受到干旱胁迫, 能够继续正常生长, 干旱胁迫后体内游离脯氨酸含量并没有显著增加的结果进一步证明了这一点。将叶保水力、叶肉质化程度和比叶面积的概念应用到菌根研究中尚属首次, 研究表明它们能够很好地反映菌根的抗旱机制。

这些机理表现为菌根化处理能够提高板栗苗的抗旱性: 推迟萎蔫时间, 缩短复水时间, 降低萎蔫系数, 增强干旱胁迫下的有效光合作用。几种菌种菌根化处理中, 美味牛肝菌、红绒盖牛肝和绵毛丝膜菌是比较优良的菌种。

参考文献:

- [1] Ronov R W. Experimental introduction of mycorrhizae into oak sowings in arid step[A]. In: Imshenenski A A, ed. Mycotrophy in Plants [M]. Moscow: Acad. Nouk USSR, 1955. 174 ~ 186.
- [2] 雷增普. 外生菌根与树木抗旱的关系[J]. 土壤学报, 1994, 31(增): 156 ~ 163.
- [3] Dixon R K. Comparative water relation of container-grow and bare-root ectomycorrhizal and nonmycorrhizal *Quercus velutina* seedlings [J]. Can J Bot, 1983, 61: 1559 ~ 1565.
- [4] Dixon R K, Wright G M. Water deficits and root growth of ectomycorrhizal white oak seedling [J]. Can J For Res, 1980, 10: 545 ~ 548.
- [5] 郭秀珍, 毕国昌. 林木菌根及应用技术[M]. 北京: 中国林业出版社, 1989.
- [6] 吕全. 外生菌根促进板栗苗生长的效益及其机理的探讨[D]. 北京: 中国林业科学研究森林生态环境与保护研究所, 1999.
- [7] Boyer J S. Water deficits and photosynthesis [A]. In: Kozlowski T T. Water Deficits and Plant Growth. Vol. [M]. New York: Acad. Press, 1976. 153 ~ 190.
- [8] Ni Bing rui, Pallardy S G. Response of gas exchange to water stress in seedlings of woody angiosperms [J]. Tree Physiology, 1991, 8: 1 ~ 9.
- [9] 李吉跃. 太行山区主要造林树种耐旱特性的研究() —— 一般水分生理生态特征[J]. 北京林业大学学报, 1991, 13(增): 10 ~ 24.
- [10] Reid C P P. Mycorrhizae and water stress [A]. In: Root Physiology and Symbiosis [M]. Nancy, 1978, 392 ~ 408.

A Study on Effect of Ectomycorrhizae on Promoting *Castanea mollissima* Resistance to Drought and Its Mechanism

LU Quan¹, LEI Zeng-pu²

(1. The Research Institute of Forestry Ecology, Environment and Protection, CAF, Beijing 100091, China;

2. College of Forest Resource and Environment, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China

Abstract: Mycorrhizal biotechnology can raise the resistance to drought of *Castanea mollissima* seedlings: increase the content of bound water in leaf by 12.08% ~ 57.49%; under the condition of water stress, delay the time of leaf wilting up to 1 ~ 1.8 days, advance recovery time from wilting up to 0.2 ~ 1.2 days after irrigation, decrease wilting coefficient by 21.95% ~ 58.04%, amplify net photosynthesis rate by 3.84% ~ 230.72%. The study demonstrates that inoculation can change the organic structure: increase the degree of leaf succulence by 0.09% ~ 7.88%, specific leaf area by 2.67% ~ 18.83%. It influences the physiological characters: raise leaf water-holding ability and decrease water saturation deficit by 3.54% ~ 29.61%. Degree of leaf succulence, specific leaf area and leaf water-holding ability were adopted in the research of mycorrhizae firstly. Additionally, transpiration rate (expressing with stomatal resistance and conductance) of inoculating seedlings is lower than the control group under water stress while it is higher under normal condition. At the same time, inoculation improve the water use efficiency of *Castanea mollissima*, i. e 7.89% ~ 79.78% under water stress, 4.78% ~ 63.89% under normal condition. Free proline content increases rapidly in control group seedlings 50.54%. It does indicate that the control group is deficient of water supply, but the inoculated seedlings still not or little feels water stress. In sum, *Boletus edulis*, *Xerocomus chrysenteron* and *Cortinarius sublanatus* are good ECM fungi of *Castanea mollissima*.

Key words: ectomycorrhizae; *Castanea mollissima*; drought resistance