

不同内外生菌根菌接种对米老排苗期的生长效应

闫彩霞, 姜清彬, 杨锦昌, 尹光天, 仲崇禄, 陈羽*

(中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520)

关键词: 米老排; 内生菌根菌; 外生菌根菌; 苗木生长

中图分类号: S792.99

文献标识码: A

Study on Seedling Growth Respond of *Mytilaria laosensis* Inoculated with Different ECM and VAM Fungi

YAN Cai-xia, JIANG Qing-bin, YANG Jin-chang, YIN Guang-tian, ZHONG Chong-lu, CHEN Yu

(Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, Guangdong, China)

Abstract: 9 mycorrhizal fungi, including 4 ectomycorrhizal fungi (ECMF) and 5 arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), were used to explore their effect on seedling growth of *Mytilaria laosensis*. The study shows that *M. laosensis* is one of the species with both VAM and ECM. Mycorrhizal infection rate of all ECM inoculation methods reached level 3, and that of AMF infection rate was 88%–93%, of which AM91 became the highest. In different periods, different inoculation treatment expressed different effects on seedling growth. At the end of the experiment, the height, ground diameter, underground dry mass and upper ground dry mass of seedling inoculated with PX0801 and 9006 respectively increased by 71%, 45%, 128%, 184%, and 65%, 54%, 150%, 208%, which exhibited the best overall effect. Coinoculated seedlings with AM90036, AM3008 and AM91 had advantages over uninoculated ones in all the tested growth indicators, which suggest to significantly promote the growth of *M. laosensis*. The results obtained provide reference for mycorrhizal fungi application on *M. laosensis*.

Key words: *Mytilaria laosensis*; VAM; ECM; seedling growth

米老排 (*Mytilaria laosensis* Lecomte) 别名壳菜果、三角枫, 属金缕梅科 (Hamamelidaceae) 常绿阔叶乔木, 原生分布于我国云南和两广, 同时越南和老挝亦见^[1]。作为重要的饲料资源和油脂资源, 米老排也是防火林带及长期的火烧山土壤造林的先锋树种, 其木材可制作家具、胶合板、客车车箱、纸浆等^[2-3], 是我国的优良速生用材树种, 具有极高的生态和经济价值。近年来, 作为优良的乡土树种, 米老排在生产上不断得到推广应用^[4]。

菌根是自然界中普遍的植物共生现象, 它是植物根系与菌根菌形成的一种联合体^[5]。根据菌根的

形态结构和解剖特征, 菌根分为外生菌根、内生菌根、内外生菌根及其它菌根——混合菌根、假菌根和外围菌根等类型^[6]。在菌根菌的应用中, 菌根菌接种已成为改善植物营养、促进生长、提高产量的一种有效措施。植物学家、微生物学家和林业工作者已对菌根资源、与菌根菌共生的植物有机体及两者间的关系进行了大量研究^[7]。Takeshi^[8]研究了7个外生菌种对黑松 (*Pinus thunbergii* Parl.) 幼苗生长和养分效应的影响。Sally 等^[9]阐述了丛枝菌根真菌对环境胁迫下植物表现的重要意义。陈羽等^[10]研究了接种3个丛枝菌根 (Arbuscular mycorrhizae, AM)

收稿日期: 2015-01-19

项目基金: 林业公益性行业科研专项 (201204304); 广东省林业科技创新专项 (2011KJCX022、2013KJCX014-08)

作者简介: 闫彩霞 (1989—), 女, 河南濮阳人, 在读硕士, 研究方向为林木苗木培育。

* 通讯作者: 海南文昌人, 副研究员, 研究方向为林木菌根。

菌株对5个种源麻楝 (*Chukrasia tabularis* A. Juss.) 幼苗生长的影响;陈展等^[11]报道,接种彩色豆马勃对酸雨胁迫下马尾松 (*Pinus massoniana* Lanb.) 生长的保护作用,但对米老排菌根菌类型及菌根菌接种对米老排苗期生长影响的研究鲜有报道。为解决苗木培育和造林中存在的米老排苗期生长偏慢等问题,本文对内生菌根菌和外生菌根菌分别接种,探讨了米老排根系是否能被菌根菌侵染、形成的菌根类型及菌根菌的侵染对米老排生长的影响,旨在为米老排菌根菌应用等基础工作提供参考。

表1 供试菌种信息

菌根类型	菌株号	菌种	来源
ECMF	PX0829	彩色豆马勃 (<i>Pisolithus tinctorius</i>) (Pers.) Coker & Couch	广西省凭祥市热林中心30年生红椎林下
	PX0801	多根硬皮马勃 (<i>Scleroderma Pantherina</i>) (Dc. ;Fr.)	广西省凭祥市热林中心6年生红椎林下
	9006	粗柄白蘑 (<i>Tricholoma crassum</i> (Berk.) Sacc. (1887))	1999年由Bernie Dell引自泰国
	YN0807	正红菇 (<i>Russula griseocarnosa</i> X. H. Wang, Zhu L. Yang & Knudsen)	广东省郁南县桂圩镇麦村黎朔与马尾松混交次生林下
AMF	AM90036	苏格兰球囊霉 (<i>Glomus caledonium</i> (Nicol. & Gerd.) rappe & Cerde)	引自中国科学院南京土壤研究所
	AM9004	地表球囊霉 (<i>Glomus epigaeum</i> (Karsten) Berch)	引自中国科学院南京土壤研究所
	AM90068	苏格兰球囊霉 (<i>Glomus caledonium</i>)	引自中国科学院南京土壤研究所
	AM3008	木薯球囊霉 (<i>Glomus manihoti</i> Howder <i>et al</i>)	引自中国科学院南京土壤研究所
	AM91	摩西球囊霉 (<i>Glomus moseac</i> (Nicol. & Gerd.) Gerdemann & Tewari)	引自北京市农科院土肥所

1.1.2 供试苗与培养基质 供试树种为米老排,ECMF 供试种子采自广西省靖西市同德镇弄凌屯停岭天然林(106°36'19.4"E,23°03'46.4"N),野外编号为JXMLP015,上坡,西北坡向,坡度10°;林地海拔863 m,母岩为花岗岩,红壤,土层厚度40 cm,土壤质地为壤土。林中主要植被为米老排、瓜馥木 (*Fissistigma shantzeense* Tsiang *et P. T. Li*)、杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.)、枫香 (*Liquidambar formosana*)、鸭脚木 (*Schefflera octophylla* (Lour.) Harms)、乌毛蕨 (*Blechnum orientale* L.)、蕨类 (*Pteridium*)等,郁闭度0.8。AMF 供试种子于2011年采自广西凭祥。

先用70%的工业酒精对米老排种子进行表面消毒4~5 min,然后将其倒入1‰的升汞溶液中搅拌10 min,再用无菌水冲洗4~5次后播种。播种基质为沙:泥灰:蛭石=4:3:2(体积比),经高压锅高温高压(0.11 Mpa,121℃)灭菌1 h后使用。种子播种50 d后,选取植株健壮、长势均匀一致的幼苗进行移植。育苗基质为黄心土:沙:泥灰:蛭石=2:2:1.5:1(体积比),经高压锅高温高压(0.11 Mpa,121℃)灭菌1 h后使用。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 试验采用完全随机设计,共9种供试菌种,对照为不接种内外生菌根菌,共计11个

1 材料及方法

1.1 试验材料

1.1.1 供试菌种 供试菌种为4种外生菌根菌(ECMF)和5种内生菌根菌(AMF),具体菌种信息见表1。ECMF 菌种在实验室中扩大培养后,经匀浆器粉碎,制成菌液使用;利用三叶草 (*Trifolium repens* L.)使AMF 菌种在消毒混合介质(蛭石:泥灰:河沙=1:1.5:2)中生物繁殖4个月,之后去其茎叶,将根系剪碎与育苗基质混合,晾干后备用。

处理,每处理10株,共计10×11=110株。试验在中国林业科学研究院热林所苗圃温室内进行。

1.2.2 接种方法及管理 ECMF 培养及接种方法:将ECMF 菌转管于800 mL三角瓶PDA液体培养基中,放置摇床振荡培养,PX0829、PX0801、9006 菌株培养15 d,YN0807 菌株培养5~7 d,菌丝量增值位数均达到50倍以上时,再利用培养好的菌液经匀浆器粉碎配制成菌剂供接种用,菌液的烘干净质量为3 mg·mL⁻¹。待试验幼苗移植成活后(约10~15 d)进行接种。在试验幼苗基部的基质上打一小孔(深度为营养杯的1/2,孔径0.6 cm),注入2 mL的ECMF 菌剂,覆盖孔口。

AMF 培养及接种方法:AMF 菌种的培养条件见文献[12]。AMF 菌种在幼苗移植同时进行接种,在育苗杯中装入2/3的灭菌育苗基质后,加入5 g AMF 菌剂(对照加入相同质量和配比的灭菌基质),再用灭菌育苗基质覆盖,淋水,移苗,再浇定根水。

试验均采用上下直径高分别为9 cm×7 cm×9 cm的育苗杯,容量350 mL;移苗后按正常苗木管理方法施肥及淋水。用3‰的复合肥水溶液做基肥,每盆复合肥用量为0.63 g(0.350 L×60%含水量×3 g)搅拌育苗介质,装杯。追肥:接种ECMF 1周后,进行第1次追肥(3‰的复合肥水溶液),之后每2周施1次3‰的复合肥水溶液,每盆追肥用量为0.63 g。

1.2.3 指标观测 在幼苗接种 ECMF 后第 60、120、270 天测定苗高(分别用 H_{60} 、 H_{120} 、 H_{270} 表示)、叶片数(分别用 LN_{60} 、 LN_{120} 、 LN_{270} 表示),并在 270 d 时加测植株地径(D)、地上干质量(UDM)、地下干质量(DDM)和菌根侵染强度。

菌根侵染分级标准^[13]:

- 0 级——根系无侵染;
- 1 级——侵染根段在 10% 以下;
- 2 级——侵染根段占 11%~30%;
- 3 级——侵染根段占 31%~50%;
- 4 级——侵染根段占 50% 以上。

在接种 AMF 后每 30 d 测定植株高度(分别用 H_{30} 、 H_{60} 、 H_{90} 、 H_{120} 、 H_{150} 表示),5 个月后加测植株地径(D)、根长(RT)、叶片数(LN)、地上干质量(UDM)和地下干质量(DDM)。采用 Phillips 和 Hayman 染色法^[14],在显微镜下观察根段,按下列公式统计菌根侵染率^[12]。

菌根侵染率 = (菌根侵染的根段数/检查的菌根根段总数) × 100%

1.3 数据分析

采用 Excel 2007 软件对苗高、地茎、根长、叶片

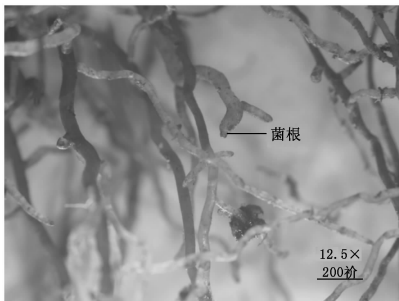


图1 ECMF 菌的菌根侵染情况

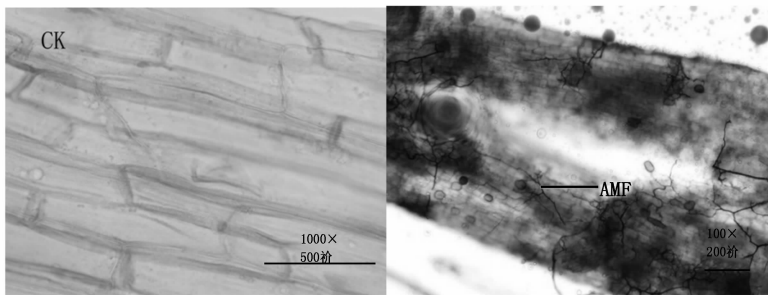


图2 AMF 菌的菌根侵染情况

2.2 接种菌根菌对不同时米老排高生长的影响

2.2.1 接种 ECMF 对米老排高生长的影响 方差分析和 Duncan 多重比较结果(表 2)显示:接种 ECMF 的米老排幼苗初期高生长效果不显著,接种 60 d 时,只有接种 9006 菌种的米老排株高比对照的高,但与对照的差异不显著;接种 120 d 时,除 YN0807 菌种外,其他菌种均对米老排的高生长有促进作用;至接种 ECMF 270 d 时,各接种幼苗株高分别比对照增加 55% (PX0829), 71% (PX0801), 65% (9006), 43% (YN0807), 说明 4 种 ECMF 菌种均能促进米老排的高生长,同时菌种间对米老排高生长的影响不显著。

2.2.2 接种 AMF 对米老排高生长的影响 米老排幼苗接种 AMF30 d 时,AM90068 和 AM91 菌种株高

数、地上干质量、地下干质量和总干质量进行统计分析并绘制图表,用软件 SAS 8.1 进行方差分析和 Duncan 多重比较。

2 结果与分析

2.1 米老排幼苗菌根合成情况

2.1.1 外生菌根的合成 菌根侵染率是衡量和应用菌根效果好坏的重要指标之一^[12]。接种 270 d 时对米老排幼苗根系外生菌根的合成情况进行调查,结果表明:4 种 ECMF 菌种都能与米老排形成共生菌根(图 1),菌根侵染率均达到 3 级以上,与对照(0 级)形成极显著差异,而菌种间侵染率差异并不明显。由此看出,4 种供试 ECMF 均能与米老排根系形成良好的共生关系。

2.1.2 内生菌根的合成 实验结束时,即接种 150 d 时,5 种 AMF 菌种都在米老排幼苗根系上形成菌根,且不同菌株处理幼苗间菌根侵染率(88%~93%)不同,MA91 菌株的侵染率最高,MA90036 菌株的侵染率最低。各 AMF 菌种处理间幼苗的菌根侵染率的差异不显著,但均与对照(27%)的差异显著(图 2)。

表 2 接种 ECMF 米老排的苗期生长

菌种	H_{60}/cm	H_{120}/cm	H_{270}/cm	侵染等级
CK	7.43 ± 0.47a	13.56 ± 1.41ab	30.92 ± 2.44b	0
PX0829	7.36 ± 0.38a	15.89 ± 1.29ab	47.86 ± 1.90a	3
PX0801	7.04 ± 0.52a	15.20 ± 1.82ab	52.75 ± 3.31a	4
9006	7.79 ± 0.72a	17.33 ± 1.56a	51.00 ± 3.92a	3
YN0807	6.93 ± 0.44a	12.60 ± 1.04b	44.29 ± 3.24a	4

注:表中数据为平均值 ± 标准误,同列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

均达到 14.4 cm 以上,为对照幼苗株高的 118% 以上。5 次测量结果表明:接菌幼苗分别比对照增加 41% (AM3008) ~ 73% (AM91) (30 d), 37% (AM90036) ~ 56% (AM3008) (60 d), 38% (AM90036) ~ 59% (AM3008) (90 d), 31% (AM9004) ~ 56% (AM91) (120 d), 21% (AM9004)

~47% (AM3008) (150 d), 说明各个菌种对米老排高生长均有促进作用, 且不同时期对其促进程度不同。对接 AMF 菌米老排的高生长进行方差分析, 结果(表3)表明: 5次测量各处理间的差异均极显著 ($P < 0.01$)。Duncan 多重比较显示: 接种4个月内,

不同菌种处理幼苗的株高均与对照的差异显著, 而菌种间差异不显著; 至150 d时, 接种 AM3008 和 AM91 菌种的苗高最大, 与对照的差异显著, 说明这2个菌种能显著促进其幼苗高生长。

表3 米老排接种 AMF 的高生长

菌种	H_{30}/cm	H_{60}/cm	H_{90}/cm	H_{120}/cm	H_{150}/cm
CK	8.43 ± 0.57b	16.54 ± 0.80b	20.29 ± 1.16b	25.86 ± 1.95c	32.00 ± 2.09c
AM90036	12.20 ± 1.10a	22.70 ± 1.80a	27.90 ± 1.90a	34.80 ± 1.80b	41.00 ± 2.30abc
AM9004	13.38 ± 0.57a	25.31 ± 1.12a	29.56 ± 1.43a	33.75 ± 1.48b	38.86 ± 2.05c
AM90068	14.43 ± 1.10a	25.00 ± 1.62a	29.86 ± 1.59a	34.36 ± 1.50b	39.71 ± 1.30bc
AM3008	11.88 ± 1.26a	25.75 ± 1.68a	32.31 ± 1.65a	40.00 ± 1.89a	47.13 ± 2.54a
AM91	14.60 ± 1.54a	24.70 ± 2.07a	31.35 ± 1.78a	40.25 ± 1.69a	46.10 ± 1.90ab

注: 表中同列不同字母表示差异极显著 ($P < 0.01$)。

2.3 菌根菌接种对米老排幼苗及其他生长指标的影响

2.3.1 接种 ECMF 对米老排其他生长指标的影响

从表4可看出: 接种60 d时, 接种 PX0829 和 YN0807 菌株的米老排叶片数 (LN_{60}) 高于对照, PX0801 和 9006 的低于对照; 至120 d时, 接种米老排的叶片数 (LN_{120}) 均高于对照。接种60、120 d时, 各菌种间幼苗的叶片数的差异不显著。接种9006 菌株270 d时, 米老排的叶片数 (LN_{270}) (18.0片) 与

对照(12片)的差异显著。试验结束时, 各接菌处理幼苗的地径 (D)、地上干质量 (UDM)、地下干质量 (DDM) 分别是对照的 125% (PX0829) ~ 141% (9006)、213% (PX0829) ~ 308% (9006)、209% (PX0829) ~ 288% (YN0807), 前二项均与对照差异显著。4种 ECMF 菌种从不同程度上促进了米老排的地径生长和生物量积累, 其中, 菌种9006对促进地径生长、地上干质量积累效果最佳, 菌种9006和 YN0807对增加地下生物量积累效果最佳。

表4 接种 ECMF 米老排苗期的生长指标

菌种	$LN_{60}/\text{片}$	$LN_{120}/\text{片}$	$LN_{270}/\text{片}$	D/cm	$UDM/(\text{g} \cdot \text{株}^{-1})$	$DDM/(\text{g} \cdot \text{株}^{-1})$
CK	5.57 ± 0.69ab	6.14 ± 0.80a	11.67 ± 0.76b	0.45 ± 0.02b	3.86 ± 0.52b	0.93 ± 0.19b
PX0829	6.22 ± 0.40a	8.22 ± 1.54a	16.00 ± 2.36ab	0.56 ± 0.03a	8.24 ± 0.65a	1.94 ± 0.58ab
PX0801	4.50 ± 0.31a	6.50 ± 0.43a	16.88 ± 1.32ab	0.60 ± 0.01a	10.96 ± 1.09a	2.13 ± 0.29ab
9006	5.40 ± 0.40ab	6.33 ± 0.78a	18.00 ± 2.19a	0.63 ± 0.05a	11.88 ± 2.50a	2.33 ± 0.52a
YN0807	5.90 ± 0.50ab	6.30 ± 0.67a	17.14 ± 1.98ab	0.59 ± 0.04a	9.73 ± 1.03a	2.68 ± 0.51a

注: 表中数据为平均值 ± 标准误, 同列不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)。

2.3.2 接种 AMF 对米老排其他生长指标的影响

从方差分析和 Duncan 多重比较结果(表5)可看出: 5种菌种在幼苗的地径 (D) 生长、根长 (RT)、叶片数 (LN)、地上干质量 (UDM)、地下干质量 (DDM) 积累上效果均显著优于对照, 分别是对照的 120% (AM90068) ~ 130% (AM9004、AM3008), 103% (AM9004) ~ 130% (AM90036), 120% (AM91) ~ 134% (AM3008), 202% (AM3008) ~ 267% (AM90036、AM9004), 204% (AM90036) ~ 225% (AM91), 各菌种间的差异不显著。其中, 菌种 AM90036 对促进地径、根长生长和地下干质量积累有显著作用, AM9004 对促进地径生长和地下干物质质量积累作用显著, AM3008 对提高地径生长和增加叶片数效果最佳, AM91 能显著增加米老排根长及地上干物质积累。

3 结论与讨论

(1) 研究发现, 参试的9种内外生菌根菌种均能侵染米老排幼苗, 与米老排形成共生关系, 表明米老排属于具有混合菌根 (ECMF 和 AMF) 的树种。4种供试 ECMF 侵染率均达到3级以上, 均能与米老排根系形成良好的共生关系。5种 AMF 菌种侵染率(88% ~ 93%) 不同, 其中, AM91 菌株的侵染率最高。

(2) 不同时期, 菌种对米老排高生长的影响不同。4种 ECMF 接种初期效果不显著, 这可能是因为接种初期尚未充分形成菌根, 随着时间的延长, 促生效果随菌根数量的增加愈见明显, 但尚需试验验证。至试验结束时, 4种菌种均能显著促进米老排的高生长, 其中, PX0829 有显著促生效果, 与 Lu 等^[15] 的报道不一致, 可能是不同树种对同一菌种效

表5 接种 AMF 米老排的苗期生长指标

菌种	D/cm	RT/cm	LN/片	侵染率/%	UDM/(g·株 ⁻¹)	DDM/(g·株 ⁻¹)
CK	0.40 ± 0.02b	12.57 ± 1.00b	9.43 ± 0.61b	27.09 ± 0.13b	2.86 ± 0.35b	0.55 ± 0.09b
AM90036	0.50 ± 0.02a	16.30 ± 1.16a	12.20 ± 0.30a	87.78 ± 0.06a	5.84 ± 0.30a	1.47 ± 0.14a
AM9004	0.51 ± 0.02a	13.00 ± 0.80a	11.88 ± 0.40a	92.50 ± 0.06a	5.90 ± 0.33a	1.47 ± 0.11a
AM90068	0.48 ± 0.01a	14.00 ± 0.90a	11.86 ± 0.51a	81.41 ± 0.13a	5.72 ± 0.30a	1.38 ± 0.13a
AM3008	0.51 ± 0.02a	14.63 ± 0.71a	12.63 ± 0.75a	88.83 ± 0.07a	5.99 ± 0.40a	1.11 ± 0.14a
AM91	0.50 ± 0.01a	14.60 ± 0.40a	11.30 ± 0.75a	93.00 ± 0.04a	6.44 ± 0.54a	1.28 ± 0.16a

注:表中数据为平均值 ± 标准误,同列不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。

应不一。接种 PX0801、9006 菌种的米老排苗高分别比对照的增加 71%、65%。接种 4 个月内,不同 AMF 处理幼苗均与对照差异显著,而菌种间差异不显著。试验结束时,接种 AM3008 和 AM91 菌种的株高分别是对照的 147% 和 144%,显著促进株高生长,与在金诺橘(*Citrus reticulata* Blanco)^[16]上的反应吻合;AM9004 和 AM90068 的促生效果不显著。

(3)接种不同菌种对米老排生长的影响不同。本试验中,4 种 ECMF 菌种从不同程度上促进了地径生长和生物量的积累,其中,菌种 9006 对促进地径生长、地上干质量的积累效果最佳,菌种 9006 和 YN0807 对增加地下生物量积累效果最佳;整体上,PX0801 和 9006 对米老排的促生效果最好。对于内生菌根菌,AM9004 对促进地径生长和地下干质量的积累作用显著,AM3008 能显著提高株高、地径生长和增加叶片数;综合来讲,内生菌种 AM90036、AM3008 和 AM91 接种效果最佳,接菌米老排幼苗的各项生长指标均高于对照,且与对照的差异显著,表明对促进米老排生长有显著效果,这与弓明钦等^[16]的研究结果一致。这再次验证了不是所有菌根菌接种都能与宿主植物形成较佳的共生体,应在推广应用前依据“适树适菌”的原则对菌种进行筛选^[10]。

(4)混合菌根不同接种处理产生了不同的接种效果^[17]。研究表明,接种菌根菌对促进米老排生长、提高产量具有重要的意义。本试验只探讨了 9 种内外生菌根菌对米老排生长的影响,这些菌种对米老排生理生化、植株养分变化的影响有待研究,还有更多的菌根菌资源有待开发利用。未来还可以从生理学、解剖学、生态学等微观宏观多角度探索菌根机理,为推动菌根菌剂在米老排培育上提供参考。

参考文献:

[1] 张宏达,颜素珠. 中国植物志(第 35 卷)——第二分册[M]. 北京:科学出版社,1979:50-52.
[2] 郭文福,蔡道雄,贾宏炎,等. 米老排人工林生长规律的研究[J]. 林业科学研究,2006,19(5):585-589.

[3] 梁善庆,罗建举. 人工林米老排木材的物理力学性质[J]. 中南林业科技大学学报,2007,27(5):97-100,116.
[4] 闫彩霞,杨锦昌,尹光天,等. 米老排不同高度级苗木形态特征的分析[J]. 林业资源管理,2013(5):98-102.
[5] Brundrett M. Mycorrhizas in natural ecosystems[J]. Advances in Ecological Research, 1991(21):171-313.
[6] 杨雪,张龄祺,刘吉开. 菌根研究进展简述[J]. 云南大学学报:自然科学版,2001,23(植物学专辑):85-87.
[7] Stefano B. Paris-type mycorrhizas in *Smilax aspera* L. Growing in a Mediterranean sclerophyllous wood[J]. Mycorrhiza, 2000, 10(1):9-13.
[8] Takeshi T, Ryota K, Kazuyoshi F. Plant growth and nutrition in pine (*Pinus thunbergii*) seedlings and dehydrogenase and phosphatase activity of ectomycorrhizal root tips inoculated with seven individual ectomycorrhizal fungal species at high and low nitrogen conditions[J]. Soil Biology and Biochemistry, 2008, 40:1235-1243.
[9] Sally E S, Evelina F, Suzanne P, et al. Plant performance in stressful environments: interpreting new and established knowledge of the roles of arbuscular mycorrhizas[J]. Plant and Soil, 2010, 326:3-20.
[10] 陈羽,姜清彬,仲崇禄,等. 接种 AM 菌对麻楝不同种源苗期的生长效应[J]. 林业科学,2011,47(5):76-81.
[11] 陈展,王琳,尚鹤. 接种彩色豆马勃对模拟酸沉降下马尾松幼苗生物量的影响[J]. 生态学报,2013,33(20):6526-6533.
[12] 弓明钦,王凤珍,陈羽,等. 相思菌根的菌种筛选及其接种效应研究[J]. 林业科学研究,2000,13(3):268-273.
[13] 弓明钦,陈应龙,仲崇禄,等. 菌根研究与应用[M]. 北京:中国林业出版社,1997:109.
[14] Phillips J M, Hayman D S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection[J]. Transactions of the British Mycological Society, 1970, 55:158-160.
[15] Lu X L, Nicholas M, Bernard D. Mycorrhiza formation and growth of *Eucalyptus globulus* seedlings inoculated with spores of various ectomycorrhizal fungi[J]. Mycorrhiza, 1998(8):81-86.
[16] 弓明钦,王凤珍,陈羽,等. 柚木菌根及其对苗期生长影响的研究[J]. 林业科学研究,2002,15(5):515-520.
[17] Chen Y L, Gong M G, Wang F Z, et al. Effect on growth of *Eucalyptus* by inoculation with ECM and VAM fungi[C]// Proceedings of IUFRO conference on silviculture and improvement of *Eucalyptus*. Salvador, Brazil, 1997.