

文章编号: 1001-1498(2009)02-0196-04

# 马褂木菌根真菌筛选和菌根化育苗效果研究

周志春<sup>1</sup>, 陈连庆<sup>1</sup>, 黄秀凤<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院亚热带林业研究所, 浙江 富阳 311400; 2. 浙江省富阳市林业局, 浙江 富阳 311400)

**摘要:**通过对马褂木菌根真菌种类调查,发现其为典型的内生菌根树种,分离和鉴定出地表球囊霉菌、苏格兰球囊霉菌和摩西球囊霉菌 3种优势的共生菌根。利用马褂木福建武夷山种源苗木,通过接种效果比较,摩西球囊霉菌的促生效果最好,为马褂木的优良菌根菌种。利用摩西球囊霉菌进一步的菌根化育苗试验表明,马褂木菌根化育苗的促生效应明显,显著促进了苗木对 N、P 素的吸收利用,其苗高、地径、根长、侧根数和干物质积累量分别较未接种试验对照提高了 42.41%、38.30%、12.90%、21.13% 和 137.78%。此外,菌根化育苗还能有效地改善基质的理化性质,其速效 N 和有效 P 含量分别较育苗前原始基质提高了 158.48% 和 48.09%。

**关键词:**马褂木;菌根真菌;菌根化育苗

中图分类号: S722.7

文献标识码: A

## Screening of Chinese Tulip Tree Mycorrhizal Fungi and Effect of Growing Seedling with Mycorrhizae

ZHOU Zhi-chun<sup>1</sup>, CHEN Lian-qing<sup>1</sup>, HUANG Xiu-feng<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Subtropical Forestry, CAF, Fuyang 311400, Zhejiang, China;

2. Forestry Bureau of Fuyang City, Zhejiang Province, Fuyang 311400, Zhejiang, China)

**Abstract:** *Liriodendron chinense* belongs to the tree species with classical endotrophic arbuscular mycorrhizal fungi. Three types of dominant mycorrhizal fungi were isolated and identified, including *Glaucus versiforme*, *G. caledonium* and *G. musseae*. *Liriodendron chinense* seedlings from Wuyishan of Fujian was used to examine the effect of mycorrhizal inoculation, and *G. musseae* exhibited the best stimulative effect. Furthermore, it was found that the mycorrhizal inoculation with *G. musseae* could markedly promote nitrogen and phosphorus acquisition of seedling and obviously enhance seedling growth, root development and dry matter accumulation. The height, root collar diameter, root length, lateral root number and dry matter accumulation of growing seedling with mycorrhizae increased on the average by 42.41%, 38.30%, 12.90%, 21.13% and 137.78% respectively in comparison with non-mycorrhizal seedlings. Further, mycorrhizal inoculation with *G. musseae* could significantly improve growing medium quality, therefore the available nitrogen and phosphorus content increased by 158.48% and 48.09% than original medium respectively.

**Key words:** *Liriodendron chinense*; mycorrhizal fungi; growing seedling with mycorrhizae

丛枝菌根真菌 (Arbuscular mycorrhizal fungi, AM) 是一类内生菌根,能与 85% 以上的陆生植物形成共生体。接种菌根可以显著地提高土壤的活性和

改良土壤的理化性质,促进植物根系生长及对矿质养分尤其对 P 素的吸收利用,增强和诱导植物抗旱、耐盐碱、抗污染等能力,从而促进植物生长并改善其

收稿日期: 2008-01-29

基金项目: 国家林业局“948 引进项目“林木营养遗传改良技术引进”(2006-4-59);福建省科技厅重点项目“马褂木营养高效种源选择及共生菌根研究”(2003N040)

作者简介: 周志春(1963—),男,江苏丹阳人,博士,研究员,博士生导师. E-mail: zczhou@fy.hz.zj.cn 或 zczhou\_risf@163.com

品质<sup>[1-2]</sup>。随着土壤地力的不断衰退和环境的持续恶化,科研工作者通过培育优良品种和改善现有栽培技术等手段来不断寻求解决提高作物和林木产量和质量的方法,而接种菌根真菌便是一种经济有效的措施。松树(*Pinus* spp.)和桉树(*Eucalyptus* spp.)等都是外生菌根的树种,已基本实现了优良菌剂的产业化生产和菌根化育苗<sup>[3]</sup>;然而占树木 90%以上物种的 AM 菌研究则处于起步阶段。

马褂木(*Liriodendron chinese* (Hemsl) Sarg) 为木兰科(Magnoliaceae)落叶大乔木,我国二类保护树种,其树干通直、速生丰产性能显著,是适宜南方山地发展的纸浆纤维材和胶合板用材树种。马褂木对立地条件反应敏感,在结构疏松、深厚肥沃、湿润及排水良好的土壤中表现出显著的速生丰产性,而在较差立地上生产力较低<sup>[4]</sup>。因此,如何实现在不断衰退立地的马褂木人工林高产经营便是面临的重要问题。已有研究发现,马褂木不同种源对低磷胁迫存在不同的反应,磷效率差异显著<sup>[5]</sup>,选择高磷效率的马褂木优良基因型可显著地提高其在低磷条件下的生长,充分利用土壤有限的磷素资源;然而有关马褂木菌根真菌的研究还是空白,在育苗和人工造林时未考虑到菌根真菌应用的问题。而与马褂木同属自然分布于美国东部和加拿大东南部的另一个种北美鹅掌楸(*L. tulipifera* L.)相关研究较多<sup>[6-7]</sup>。如 K. R. Klugh 等<sup>[6]</sup>研究结果表明:北美鹅掌楸存在 *Acaulospora morrowiae* Spain & Schenck, *Glaucus claroidium* Schenck & Smith, *G. clannum* Nicol & Schenck 和 *Paraglaucus brasiliense* (Spain & Miranda) Morton & Redecker 等多种菌根真菌,接种 *G. clannum* Nicol & Schenck 后苗木耐 Al 毒效果最好,干物质积累量最高,叶片中 Al 含量最低, P 含量最高,并向根际大量分泌苹果酸和柠檬酸等,接种其它菌的耐 Al 毒效果不明显。本文基于马褂木种源磷效率研究结果<sup>[5]</sup>,系统开展其菌根真菌资源调查、优良菌根真菌筛选和菌根化育苗效果等研究,为马褂木人工林低耗高效经营提供新的技术突破口。

## 1 材料与方法

### 1.1 马褂木菌根真菌种类调查

2005 年 3 月在浙江富阳选取 1 年生马褂木育苗地和成林地,按梅花状设点取得 0~15 cm 土层的混合土样,去除杂质后浸入水中,应用定量湿筛法分离共生孢子,镜检鉴定,挑取菌根真菌典型成熟的单孢

子,表面消毒后植入灭菌的砂土中,同时播种消毒过的三叶草(*Trifolium repens* L.)种子,适时管理进行单孢子扩繁,获得纯化的试验目的真菌。经载体扩繁,鉴定马褂木菌根真菌优势种。

### 1.2 马褂木菌根真菌优势种筛选

用直径 8 cm、高 12 cm 的容器放入灭菌的贫瘠酸性红壤。该红壤取自中国林业科学研究院亚热带林业研究所虎山,其全 N、全 P 含量分别为 0.08、0.48 g·kg<sup>-1</sup>,水解 N、有效 K 和有效 P 含量分别为 6.19、97.66、34.85 mg·kg<sup>-1</sup>,pH 值 4.47。于 2005 年 5 月中旬在每个容器中移植 1 株两叶一芽大小的福建武夷山种源马褂木芽苗,并用沟施覆盖法接种扩繁载体 5 g(含马褂木菌根真菌优势种菌 50 个),成活后常规管理。以未接种为对照,每处理重复 30 盆。试验于 2005 年 9 月 29 日采收,每个处理随机选择 10 株生长正常的植株,量测苗高、地径、叶片数、侧根数、侧根总长后,经 105℃ 杀青 30 min,80℃ 烘干至恒质量,测定各植株的干物质积累量。最后测定各植株的全 N、全 P 和全 K 含量<sup>[8]</sup>。综合比较各菌种处理的苗木生长和养分吸收积累量,确定优良的马褂木菌根真菌种类。

### 1.3 马褂木接种优良菌根真菌试验

按上述试验条件,2006 年 4 月 14 日移植福建武夷山种源马褂木芽苗,2006 年 5 月 30 日接种筛选出的优良菌根真菌,并以未接种为试验对照。2006 年 7 月 24 日分别接种和未接种优良菌根真菌试验,选择 30 株生长正常的苗木及其栽培后基质土壤,量测苗木生长和根系形态等指标,测定植株全 N、全 P、全 K、Ca、Mg、Cu、Zn、Fe、Mn 等微量元素的积累量以及菌根化育苗后栽培基质速效 N 和有效 P 含量,以研究接种优良菌根对马褂木苗木生长、养分吸收和基质养分变化等影响。

## 2 结果与分析

### 2.1 马褂木菌根真菌优势种调查和筛选

2.1.1 马褂木菌根真菌优势种 经鉴定马褂木为典型的内生菌根树种。基于对马褂木 1 年生育苗地和成林地土壤菌根形态和解剖结构的分析,证实其为 AM 菌根,并分离和鉴定出 3 种优势的共生菌根真菌,即地表球囊霉菌(*G. versiforme* Berch)、苏格兰球囊霉菌(*G. caledonium* Nicol & Gerd) Trappe & Gerd)和摩西球囊霉菌(*G. mossae* Gerdemann & Trappe)。

2.1.2 马褂木优良菌根真菌筛选 从表 1 可以看

出:接种分离鉴定出的 3 种菌根真菌皆能显著促进马褂木苗木生长、根系发育和干物质积累,显示出明显的促生效应,也意味着非菌根化会限制苗木的生长发育和干物质积累。与未接种对照比较,接种地表球囊霉菌、苏格兰球囊霉菌和摩西球囊霉菌的苗高分别提高了 16.6%、10.0%和 20.0%,侧根数分别增加了 114.0%、60.0%和 80.0%,干物质积累量分别增加了 52.2%、50.0%和 72.2%。在接种的 3 种菌根真菌中,以摩西球囊霉菌的促生效果最为明显,其苗高和干物质积累量较接种地表球囊霉菌分别增加了 2.92%和 13.14%,较接种苏格兰球囊霉菌分别增加了 9.09%和 14.81%。

表 1 接种 3 种菌根真菌对马褂木苗木生长、根系发育和干物质积累的影响

接种菌根种类	苗高 / 地径		叶片数 / 根长		侧根数 / 干物质	
	cm	mm	片	cm	根	累量 / g
地表球囊霉菌	5.83	2.43	4.7	15.8	10.7	0.137
苏格兰球囊霉菌	5.50	2.15	4.5	13.5	8.0	0.135
摩西球囊霉菌	6.00	2.55	5.0	15.0	9.0	0.155
未接种	5.00	1.50	4.0	8.5	5.0	0.090

表 2 接种 3 种菌根真菌对马褂木苗木吸收积累 N、P 和 K 的影响

接种菌根种类	养分吸收积累量 / (mg · 株 <sup>-1</sup> )			养分含量 / (mg · g <sup>-1</sup> )		
	N	P	K	N	P	K
地表球囊霉菌	1.972 8	1.082 3	2.861 9	14.40	7.90	20.89
苏格兰球囊霉菌	2.812 1	1.282 5	3.865 1	20.83	9.50	28.63
摩西球囊霉菌	6.395 3	1.534 5	4.575 6	41.26	9.90	29.52
未接种	1.305 0	0.333 0	1.838 7	14.50	3.70	20.43

表 3 马褂木菌根化育苗生长、根系形态和干物质积累量

处理	苗高 / 地径		叶片数 / 根长		侧根数 / 干物质	
	cm	mm	片	cm	根	累量 / g
接种摩西球囊霉菌	11.25	3.25	4.8	7.0	8.6	0.321
未接种 (CK)	7.90	2.35	5.1	6.2	7.1	0.135
>CK / %	42.41	38.30	-5.88	12.90	21.13	137.78

2.2.2 菌根化苗木对 N、P 和 K 的吸收累积 试验研究发现 (表 4): 马褂木菌根化苗各生长器官对 N 素的累积较非菌根化苗都有不同程度地增加, 尤以根系最为明显, 其 N 素含量较非菌根化苗提高了 28.55%。菌根化苗对 P 素的累积较非菌根化苗更为显著, 根、茎和叶 P 素含量分别提高 35.09%、4.26%和 50.00%, 这是菌根重要功能的具体表现; 然而马褂木菌根化苗各器官的 K 素含量却较非菌根化苗低, 仅达非菌根化马褂木苗的 41.9%~70.5%。K 素在马褂木非菌根化苗体内的异常积累与其生长受抑制有关。

接种菌根真菌不仅具有明显的促生效应, 而且能促进马褂木苗木对 N、P、K 的吸收积累量和养分含量成倍增加, 其中以接种摩西球囊霉菌的苗木对 N、P 和 K 吸收积累量最高, 分别较未接种处理增加了 390.06%、360.81%和 148.85%, N、P、K 养分含量分别较未接种处理提高了 184.55%、167.57%、44.49% (表 2)。从接种后苗木生长、干物质生长能力和养分吸收积累量等来看, 在 3 种分离鉴定的菌根真菌中摩西球囊霉菌接种效果最好, 为马褂木的优良菌种。通过实验观测, 摩西球囊霉菌成熟的厚垣孢子壁透明, 呈蜜黄色, 球形, 与孢子衔接的联孢菌丝呈漏斗状, 孢子直径 250 μm 左右。

## 2.2 马褂木接种摩西球囊霉菌的菌根化育苗效果

2.2.1 菌根化育苗促生效果 表 3 表明: 选用优良菌根真菌摩西球囊霉菌进行马褂木菌根化育苗, 接种后经 85 d 的生长, 其促生效果非常明显。除叶片外, 苗高、地径、根长、侧根数和干物质积累量分别提高了 42.41%、38.30%、12.90%、21.13%和 137.78%, 尤以干物质的累积最为显著。

表 4 马褂木菌根化苗木各生长器官 N、P 和 K 养分含量

处理	器官	mg · g <sup>-1</sup>		
		N	P	K
菌根化苗	根	14.86	4.35	12.72
	茎	14.60	1.47	14.93
	叶	29.25	2.58	7.48
非菌根化苗	根	11.56	3.22	18.04
	茎	14.57	1.41	35.63
	叶	27.96	1.72	14.62

2.2.3 菌根化苗木对 Ca、Mg、Cu、Zn、Fe 和 Mn 等微量元素吸收累积 比较菌根化和非菌根化马褂木苗各器官 Ca、Mg、Cu、Zn、Fe 和 Mn 素含量, 发现菌根化对苗木微量元素的累积效果较为复杂 (表 5)。菌根化苗叶片 Ca 元素含量提高了 4.11%, 而根、茎的 Ca 元素含量仅分别为非菌根化苗的 75.08%和 71.25%; Mg 元素含量二者差距不大; Cu 元素含量在根和茎中, 比非菌根化苗分别提高 12.42%和 6.92%; Zn 元素含量在叶、茎中比非菌根化苗都低, 但在根中却提高 63.29%; Fe 元素

含量在根、茎和叶中,较非菌根化苗分别提高 498.17%、786.08%、5.33%;根、茎和叶的 Mn 元素含量比非菌根

化苗分别提高了 371.15%、944.95%和 68.94%,其效果最为显著,相关机理有待进一步研究。

表 5 马褂木菌根化苗木各生长器官 Ca、Mg、Cu、Zn、Fe、Mn 等微量元素含量

器官	处理	Ca	Mg	Cu	Zn	Fe	Mn
根	菌根化苗	1 313.74	157.98	35.12	77.58	904.55	634.4
	非菌根化苗	1 749.69	154.18	31.24	47.51	151.22	134.65
	菌根化苗/非菌根化苗/%	75.08	102.46	112.42	163.29	598.17	471.15
茎	菌根化苗	2 826.35	383.58	67.08	53.18	1 373.96	421.74
	非菌根化苗	3 966.64	375.78	62.74	54.27	155.06	40.36
	菌根化苗/非菌根化苗/%	71.25	102.08	106.92	97.99	886.08	1044.95
叶	菌根化苗	1 618.91	127.88	27.99	48.61	150.69	259.51
	非菌根化苗	1 555.05	128.47	28.52	56.47	143.07	153.61
	菌根化苗/非菌根化苗/%	104.11	99.54	98.14	86.08	105.33	168.94

2.2.4 马褂木菌根化育苗对栽培基质养分的影响  
与育苗前的原始基质比较,马褂木菌根化育苗能显著促进栽培基质速效 N 和有效 P 含量的提高(表 6)。与育苗前原始基质比较,菌根化育苗后基质的速效 N 和有效 P 含量分别较非菌根化育苗基质增加了 158.48%和 48.09%,说明在马褂木育苗中接种摩西球囊霉菌不仅能显著促进栽培基质无效态 P 的活化,而且能显著促进根系向基质分泌有机酸、氨基酸等,提高栽培基质速效 N 和有效 P 含量,从而改善了栽培基质的理化性质。对于非菌根化育苗,其栽培基质速效 N 含量较育苗前基质明显提高,但其有效 P 含量却因大量提供马褂木苗木生长而显著减少。

表 6 马褂木菌根化育苗后基质养分变化  $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$

处理	速效 N	有效 P
菌根化育苗基质	16.00	51.61
非菌根化育苗基质	11.00	12.78
育苗前原始基质	6.19	34.85

### 3 结论

调查研究表明,马褂木为典型的内生菌根树种,能与多种丛枝菌根真菌发生共生关系,其中地表球囊霉菌、苏格兰球囊霉菌和摩西球囊霉菌等为优势共生菌根真菌。菌根接种效果显示,这 3 种优势菌根真菌均能显著地促进马褂木苗木生长、根系发育、干物质积累以及对 N、P、K 的吸收利用,其中摩西球囊霉菌的接种效果最明显。对于同属的北美鹅掌楸,在其多种共生的丛枝菌根中,也以球囊霉菌属的 *G. clausii* Nicol & Schenck 接种效果最好,其它属种菌根的促生效果不明显<sup>[6]</sup>。接种优良菌根真菌摩西球囊霉菌的进一步试验结果表明,马褂木菌根化育苗效果显著,其苗高、地径和干物质积累量分别较未接种对照提高了 42.41%、38.30%和 137.78%,

这缘于接种菌根后能显著促进苗木对 N、P 的吸收利用及根系发育。与未接种苗木比较,接种苗木根系对 N、P 的吸收量分别提高了 28.55%和 35.09%,根长和侧根数分别增加了 12.90%和 21.13%;然而菌根化苗木体内的 K 素含量较低,非菌根化苗木体内 K 素含量却较高,其异常积累与苗木生长受抑制有关。菌根化苗木对 Ca、Mg、Cu、Zn、Fe 和 Mn 等微量元素的吸收累积比较复杂,未发现明显的变化规律,需进一步地深入研究。研究还发现,菌根化育苗还能显著地促进育苗基质无效态的 P 的活化和速效 N 的提高,能明显地改善基质的理化性质。菌根化育苗后基质速效 N 和有效 P 含量分别较育苗前原始基质提高了 158.48%和 48.09%,这与菌根化苗木向根际大量分泌苹果酸和柠檬酸等有机酸有关<sup>[6]</sup>。

### 参考文献:

- [1] 杨振寅, 廖声熙. 丛枝菌根对植物抗性的影响研究进展 [J]. 世界林业研究, 2005, 18(2): 26 - 29
- [2] 余卓玲, 梁计南. VA 菌根真菌对植物吸收能力及抗逆性的影响研究进展 [J]. 广东农业科学, 2005(3): 44 - 47
- [3] 花晓梅, 刘国龙, 张效林, 等. 松树截根菌根化育苗和造林的研究 [J]. 林业科学研究, 1995, 8(5): 535 - 543
- [4] 李建民, 封剑文, 谢芳, 等. 鹅掌楸人工林的丰产特性 [J]. 林业科学研究, 2000, 13(6): 622 - 627
- [5] 王剑, 周志春, 金国庆, 等. 马褂木种源磷效率特性差异研究 [J]. 林业科学研究, 2006, 19(2): 211 - 215
- [6] Klugh K R, Cumming J R. Variations in organic acid exudation and aluminum resistance among arbuscular mycorrhizal species colonizing *Liriodendron tulipifera* [J]. Tree Physiology, 2007, 27(8): 1103 - 1112
- [7] Lux H B, Cumming J R. Mycorrhizae confer aluminum resistance to tulip poplar seedlings [J]. Canadian Journal of Forest Research, 2001, 31(4): 694 - 702
- [8] 中国土壤学会农业化学专业委员会. 土壤农业化学常规分析方法 [M]. 北京: 科学出版社, 1983