

文章编号: 1001-1498(2001)02-0181-07

接种菌根菌对桉树生长的影响*

仲崇禄¹, 弓明钦¹, 徐大平¹, 陈羽¹,
王凤珍¹, Nicholas Malajczuk²

(1. 中国林业科学研究院 热带林业研究所, 广东 广州 510520;

2. CSIRO Forestry and Forest Products, WA 6014, Australia)

摘要: 以尾叶桉和巨尾桉为材料, 1993 和 1994 年在广东省开平市镇海林场建立了 2 个外生菌根菌接种试验, 均采用裂区设计, 4 次重复, 每试验均 2 个树种为主区, 菌根菌处理为副区。试验 1 有 8 个外生菌根菌处理, 每处理小区 6 株或 9 株, 试验 2 有 3 个外生菌根菌处理, 每处理小区 9 株。造林后, 定期观测树高、地径或胸径。试验结果表明: 树种内菌根菌效应分析发现, 巨尾桉所有指标在菌根菌间存在显著差异, 尾叶桉只是某些指标在菌根菌间有显著差异, 表明两树种对相同菌根菌处理的反应不同; 树种联合方差分析表明, 试验 1 中所有指标在区组间、树种间、菌根菌处理间均有显著差异, 从方差分量看, 树种效应 > 树种 × 菌根菌互作效应或菌根菌效应; 试验 2 中树高指标在树种间和菌根菌处理间均存在显著差异, 而 24 个月时胸径指标在树种间无显著差异, 但胸径在菌根菌处理间有极显著差异, 树高指标的方差分量为树种效应 > 树种 × 菌根菌互作效应或菌根菌效应。胸径的方差分量为菌根菌效应 > 树种 × 菌根菌互作效应 > 树种效应。分析表明树种 × 菌根菌互作效应存在时间上的不稳定性; 同时, 讨论了外生菌根菌应用中树种因素的重要性。

关键词: 桉树; 外生菌根菌; 接种效应

中图分类号: S718.81 **文献标识码:** A

Cline M L 和 Reid C P P (1982) 在温室中, 用彩色豆马勃 (*Pisolithus tinctorius* Coker et Couch)、须腹菌 (*Rhizopogon* Fr.)、点柄乳牛肝菌 (*Suillus granulatus* O. Kuntze) 接种了 10 个种源的苗木, 结果发现其形成菌根的能力在种源间有显著不同^[1]; Dixon R K、Garrett H E 和 Stelzer H E (1987) 发现火炬松子代苗木上的外生菌根菌 (彩色豆马勃 Pt) 发育有遗传变异, 其中速生的子代苗有大量菌根菌定植, 提出菌根菌和寄主基因型都影响菌根菌共生及其以后的苗木生长^[2]; Ekwebelam S A (1984) 用彩色豆马勃、须腹菌、点柄乳牛肝菌及 3 个未鉴定菌根菌分别对洪都拉斯加勒比松 [*Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* (Senecl) Barr & Golf]、巴哈马加勒比松 (*Pinus caribaea* Morelet var. *bahamensis* Barr & Golf) 和加勒比松本种 (*Pinus caribaea* Morelet) 苗木接种, 结果显示接种后 16 周时, 苗木生长、生物量和营养元

收稿日期: 1999-11-10

基金项目: 中澳合作 ACIAR9044 项目 (1991~ 1994 年)“借助菌根菌接种提高华南地区桉树人工林生产力”内容

作者简介: 仲崇禄 (1961-), 男, 山东郓城人, 副研究员

* 试验中得到广东省江门市林科所和开平市林业局的大力支持, 特此致谢

素含量在3类寄主间均有较大差异^[3];Lange M (1987)通过对10片人工林调查,阐述了菌根菌对白云杉等12个寄主树种和土壤类型的依赖性^[4]。Theodorou C、Cameron J N 和Bowen G D (1991)报道4个立地上研究了6个辐射松家系的侵染率差异,并发现取样家系、季节、立地均影响侵染率^[5];Walker C 和McNabb H S (1984)把7个杨树杂种无性系种植于装有天然土壤的容器中,1 a后调查其外生菌根和内生菌根孢子的情况,结果发现杨树无性系间在菌根营养(mycotrophy)方面有差异^[6]。总之,前人的研究表明树种对菌根菌接种效果有影响,存在树种与菌根菌互作,但桉树树种对菌根菌接种效果的影响研究未见报道。基于2个试验,目的是探讨树种对接种效果的影响,及外生菌根菌与桉树树种间的互作,为2种参试桉树筛选适合的外生菌根菌。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验设在广东省开平市国营镇海林场,地处22°32' N, 112°31' E,海拔高60 m。年平均气温22.1℃,年降水量1822 mm,绝对最低温1.0℃,绝对最高温38.3℃,霜期3 d·a⁻¹,台风期每年5~10月。造林前植被为马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)林。试验地坡度25°;土壤为赤红壤。主要土壤特性:有机质24900 mg·kg⁻¹,全氮1340 mg·kg⁻¹,C/N比18:302,全磷15 mg·kg⁻¹,pH值(水提)4.45;交换性阳离子(cmol⁽⁺⁾·kg⁻¹)Na 0.13, K 0.089, Ca 0.084和Mg 0.037。

1.2 试验材料

每试验均含2个树种,尾叶桉(*Eucalyptus urophylla* S. T. Blake)实生苗和巨尾桉(*Eucalyptus grandis* × *urophylla*)无性系组培苗;参试外生菌根菌处理菌株见表1。

表1 参试外生菌根菌种名称和菌株

试验号	菌 种 名 称	菌株号	来 源
试 验 1	1. <i>H ebelan a w estraliense</i> Bough, Tom. & M alajczuk 西澳粘滑菇	E4070	澳大利亚西南部
	2. <i>Tylopilus</i> sp. 粉孢牛肝	E4240	澳大利亚昆士兰
	3. <i>P isolithus</i> sp. 豆马勃	H4696	澳大利亚昆士兰
	4. <i>Castoreum</i> sp. (待定名)	H4509	澳大利亚昆士兰
	5. <i>P isolithus</i> sp. 豆马勃	H4111	澳大利亚昆士兰
	6. <i>Sclerodema</i> sp. 硬皮马勃	H5509	澳大利亚昆士兰
	7. <i>Sclerodema</i> sp. 硬皮马勃	C9215	中国华南地区
	8. CK (不接种)	对照	
试 验 2	1. <i>Tylopilus</i> sp. 粉孢牛肝	E4240	澳大利亚昆士兰
	2. <i>P isolithus</i> sp. 豆马勃	H4339	澳大利亚昆士兰
	3. CK (不接种)	对照	

1.3 试验方法

1.3.1 试验地准备、试验设计和方法 均采用撩壕整地方式,穴为60 cm × 40 cm × 40 cm;每

试验均采用裂区设计, 4 次重复, 2 个树种为主区, 菌根菌处理为副区。

试验 1 的设计及方法: 8 个菌根菌处理, 每小区处理 6 或 9 株, 其中实生苗 6 株/小区, 组培苗 9 株/小区。株行距为 2 m × 3 m; 造林时施基肥: 复合肥 100 g · 株⁻¹; 过磷酸钙 250 g · 株⁻¹; 1993 年 9 月 18 日造林。

试验 2 的设计及方法: 3 个菌根菌处理, 每小区处理 9 株, 株行距为 1.5 m × 3 m; 造林时施基肥: 过磷酸钙 250 g · 株⁻¹; 造林时间: 1994 年 5 月 4 日。1995 年 2 月 25 日追施复合肥一次, 每株 100 g。

1.3.2 接种方法 组培苗: 先将各参试菌根菌在 MNN 改良培养基^[7]上进行繁殖, 选择生长旺盛、生长日龄基本一致的菌落, 在无菌条件下分别挑取大小 0.8~1.0 cm² 的菌块, 直接放入有生根培养基的组培瓶中, 每瓶可放入 3~4 小块, 在常规组培条件下继续培育, 待苗木生根后按常规方法移苗。育苗基质使用泥炭 蛭石 河沙=1.5 1 2(体积比)的混合基质, 在 0.14 MPa 压力下消毒 20 h 的无菌基质。育苗过程中, 每周施用 0.03% 复合肥 1 次。苗木出圃时, 逐株检查菌根感染情况, 将已确定的菌根苗用于田间试验。

实生苗: 试验 1 是 1993 年 6 月 15 日在中国林科院热带林业研究所苗圃播种育苗, 1993 年 7 月 15 日移苗和接种菌根菌, 采用菌丝体菌块接种, 菌块应尽量接触苗木根系; 育苗基质为泥炭土 沙土 蛭石为 1.5 2 1。育苗过程中, 每周施用 0.03% 复合肥 1 次; 试验 2 是 1993 年 10 月 30 日在中国林科院热带林业研究所苗圃播种育苗, 1993 年 11 月 25~28 日移苗并接种菌根菌, 其它同试验 1。苗木出圃时, 逐株检查菌根感染情况, 将已确定的菌根苗用于田间试验。

1.3.3 树木测定 试验 1: 造林后 3 个月、6 个月各测定一次树高(H , m), 分别用 H_3 、 H_6 表示; 3 个月测定 10 cm 高处的地径(D , cm), 用 D_3 表示。试验 2: 造林后 6 个月和 24 个月各测定一次树高(H , m), 分别用 H_6 和 H_{24} 表示; 24 个月各测定一次树木胸径(DBH , cm), 用 DBH_{24} 表示。

1.4 数据处理

不同时间观测获得的所有单株数据, 采用 SAS 数据处理软件中 GLM 方法进行方差分析。每试验中, 单树种方差分析模型 $Y = \mu + B_i + G_j + M_k + BM_{ik} + E_{ijkl}$, 每试验中两树种联合方差分析模型 $Y = \mu + B_i + G_j + EG_{ij} + M_k + GM_{jk} + E_{ijkl}$, 其中 Y 为观测值, μ 为总平均值, B_i 为重复效应, G_j 为树种效应, EG_{ij} 为主区误差效应, M_k 为菌根菌效应, BM_{ik} 为重复 × 菌根菌互作效应, GM_{jk} 为树种 × 菌根菌互作效应, E_{ijkl} 为误差。采用 Duncan 法进行多重比较^[8,9]。

2 结果与分析

2.1 树种内菌根菌效应

试验 1(表 2)两树种在重复间及重复 × 菌根菌互作间均存在显著差异; 巨尾桉树高、地径在菌根菌间均有显著差异, 而尾叶桉地径指标在造林后 3 个月时菌根菌间有显著差异, 表明两树种对相同菌根菌处理的反应不同。进一步多重比较分析(表 3)表明: 巨尾桉造林后 6 个月, 菌株 E4070 对树高生长有显著改善作用, 而造林后 3 个月尾叶桉, 菌株 H4696、H4509 和 H4111 对地径, 及菌株 C9215 对树高生长都有显著改善作用。

表 2 试验 1 造林后树木树高、地径和胸径方差分析

项目	变源	指标	巨尾桉			尾叶桉							
			DF	F 值	方差分量/%	DF	F 值	方差分量/%					
单 树 种 方 差 分 析	B	H 3	3	19.49***	13.68	3	8.34***	10.02					
	M		7	5.05***	0.93	7	1.25 ^{ns}	0.41					
	B × M		21	4.49***	25.69	21	2.40***	19.21					
	E		229		59.70	134		70.37					
	B	D 3	3	8.60***	3.00	3	9.67***	10.78					
	M		7	2.58**	0.56	7	2.07*	0.26					
	B × M		21	5.41***	33.98	21	2.82***	23.25					
	E		229		62.47	134		65.72					
	B	H 6	3	39.60***	24.96		12.56***	23.07					
	M		7	4.97***	1.93		1.25 ^{ns}	0.38					
	B × M		21	6.09***	30.84		2.64***	22.78					
	E		194		42.27			53.77					
项目	变源	指标	DF	F 值	方差分量/%	指标	DF	F 值	方差分量/%	指标	DF	F 值	方差分量/%
两 树 种 联 合 方 差 分 析	B	H 3	3	18.17***	7.09	D 3	3	16.02***	4.63	H 6	3	38.11***	19.07
	G		1	127.2***	33.22		1	200.9***	43.63		1	91.40***	26.68
	EG		3		3.18		3		3.17		3		2.50
	M		7	1.90*	0.13		7	1.82*	0.82		7	3.34***	2.60
	G × M		7	1.70 ^{ns}	1.53		7	2.38**	2.47		7	1.00 ^{ns}	0.01
E	405		54.86	405		45.28	336		49.14				

注: ns——不显著; ***——1% 显著水平; **——5% 显著水平; *——10% 显著水平。

表 3 试验 1 中菌根菌处理的各树种树高、地径和胸径的多重比较分析

菌 株	H 3		D 3		H 6	
	巨尾桉	尾叶桉	巨尾桉	尾叶桉	巨尾桉	尾叶桉
E4070	0.22 a	0.35 ab	0.25 a	0.44 ab	0.41 a	0.57 a
E4240	0.21 a	0.32 ab	0.25 a	0.38 ab	0.36 ab	0.54 a
H4696	0.21 a	0.34 ab	0.24 a	0.46 a	0.37 ab	0.71 a
H4509	0.21 a	0.36 ab	0.26 a	0.49 a	0.38 ab	0.57 a
H4111	0.15 b	0.36 ab	0.19 b	0.47 a	0.23 c	0.48 a
H5509	0.20 a	0.28 b	0.26 a	0.38 ab	0.33 b	0.62 a
C9215	0.23 a	0.37 a	0.24 a	0.45 ab	0.36 ab	0.56 a
对照(CK)	0.20 a	0.28 b	0.23 a	0.34 b	0.33 b	0.44 a
显著水平 P	0.10	0.10	0.10	0.05	0.10	0.10

试验 2(表 4), 巨尾桉的所有指标在菌根菌处理间均有显著差异, 而只 24 个月时树高在重复 × 菌根菌互作间有显著差异, 但重复间无显著差异; 尾叶桉的所有指标在重复 × 菌根菌互作间有显著差异, 造林后 6 个月树高、24 个月胸径在重复间也有显著差异, 而 24 个月树高在菌根菌间有显著差异。为比较菌根菌接种效果, 按树种对菌根菌进行多重比较分析(表 5), 发现菌株 E4240、H4339 对巨尾桉所有观测指标均有显著促进作用, 而只有菌株 E4240 对尾叶桉 24 个月树高生长有显著促进作用。

表 4 试验 2 造林后树木树高、地径和胸径方差分析

项目	变源	指标	巨尾桉			尾叶桉							
			DF	F 值	方差分量/%	DF	F 值	方差分量/%					
单 树 种 方 差 分 析	B	H 6	3	1.36 ^{ns}	0.13	3	4.28 ^{***}	2.41					
	M		2	7.13 ^{***}	19.35	2	0.17 ^{ns}	0					
	B×M		6	1.27 ^{ns}	3.64	6	5.64 ^{***}	21.90					
	E		61		76.89	82		75.69					
	B	H 24	3	0.32 ^{ns}	0.88	3	1.73 ^{ns}	0.14					
	M		2	7.71 ^{***}	16.43	2	3.04 [*]	0.11					
	B×M		6	2.31 ^{**}	16.41	6	8.43 ^{***}	51.65					
	E		55		66.28	74		48.1					
	B	DBH 24	3	0.49 ^{ns}	0.143	3	3.37 ^{**}	0.34					
	M		2	5.93 ^{***}	20.25	2	0.85 ^{ns}	0.86					
	B×M		6	0.49 ^{ns}	0.08	6	4.26 ^{***}	31.62					
	E		55		79.53	74		67.19					
项目	变源	指标	DF	F 值	方差分量/%	指标	DF	F 值	方差分量/%	指标	DF	F 值	方差分量/%
两 树 种 联 合 方 差 分 析	B	H 6	3	1.93 ^{ns}	1.01	H 24	3	1.42 ^{ns}	0.81	DBH 24	3	2.33 [*]	4.79
	G		1	39.95 ^{***}	27.52		1	13.23 ^{***}	12.83		1	0.81 ^{ns}	0.01
	EG		3		4.41		3	1	0.08		3		0.37
	M		2	3.01 [*]	0.09		2	5.24 ^{***}	6.50		2	6.70 ^{***}	8.67
	G×M		2	2.80 [*]	4.34		2	1.19 ^{ns}	0.61		2	1.56 ^{ns}	1.94
E	154		62.62	144		79.15	144		84.22				

注: ns——不显著; ***——1% 显著水平; **——5% 显著水平; *——10% 显著水平。

表 5 试验 2 中菌根菌处理的各树种树高、地径和胸径的多重比较分析

菌 株	H 6		H 24		DBH 24	
	巨尾桉	尾叶桉	巨尾桉	尾叶桉	巨尾桉	尾叶桉
E4240	1.81 a	2.30 a	7.75 a	7.13 a	6.79 a	6.75 a
H4339	1.75 a	2.21 a	7.95 a	6.85 ab	6.73 a	6.49 a
CK	1.13 b	2.16 a	6.94 b	6.52 b	5.63 b	6.14 a
显著水平 P	0.01	0.10	0.05	0.10	0.01	0.10

2.2 树种效应、菌根菌效应、树种×菌根菌互作效应分析

试验 1 的树种联合方差分析表明: 所有指标在重复间、树种间、菌根菌处理间均有显著差异, 但造林 3 个月的地径存在显著的树种×菌根菌互作效应; 从方差分量看, 造林后 3 个月时, 树高和地径的树种效应> 树种×菌根菌互作效应> 菌根菌效应, 而造林后 6 个月树高的树种效应> 菌根菌效应> 树种×菌根菌互作效应。

试验 2 树高在树种间和菌根菌处理间均存在显著差异, 而 24 个月时胸径指标在树种间无显著差异, 但胸径在菌根菌处理间有极显著差异; 只有造林后 6 个月树高指标有显著的树种×菌根菌互作效应, 当造林后 24 个月时树种×菌根菌互作效应不显著。反映出该互作效应在时间上并不稳定; 树高指标的方差分量为树种效应> 树种×菌根菌互作效应或菌根菌效应; 胸径的方差分量为菌根菌效应> 树种×菌根菌互作效应> 树种效应。

3 结语与讨论

(1) 树种内菌根菌效应分析表明, 巨尾桉所有指标在菌根菌间存在显著差异, 尾叶桉只是某些指标在菌根菌间有显著差异, 表明两树种对相同菌根菌处理的反应不同。多重比较分析表明: 巨尾桉仅菌株 E4070 对造林后 6 个月树高生长有显著改善作用, 菌株 E4240、H4339 对巨尾桉所有观测指标均有显著促进作用; 而尾叶桉菌株 H4696、H4509 和 H4111 对造林后 3 个月地径, 菌株 C9215 对造林后 3 个月树高, 及菌株 E4240 对尾叶桉 24 个月树高生长都有显著改善作用, 表明不同树种对不同菌根菌有不同的接种效果。

(2) 树种联合方差分析表明, 试验 1 中所有指标在重复间、树种间、菌根菌处理间均有显著差异, 从树高和地径的方差分量看, 树种效应 > 树种 × 菌根菌互作效应或菌根菌效应; 试验 2 中树高指标在树种间和菌根菌处理间均存在显著差异, 而 24 个月时胸径指标在树种间无显著差异, 但胸径在菌根菌处理间有极显著差异, 树高指标的方差分量为树种效应 > 树种 × 菌根菌互作效应或菌根菌效应, 而胸径的方差分量为菌根菌效应 > 树种 × 菌根菌互作效应 > 树种效应。

(3) 树种 × 菌根菌互作效应分析反映出该互作效应有不稳定性。

(4) 不同树种对外生菌根菌接种的反应不同, 因此, 像“适地适树”一样, 提倡“适树适菌”, 而不能盲目使用菌根菌。从本试验结果看, 与实生尾叶桉苗相比, 遗传基础相同的巨尾桉无性系组培苗能更好地反应出菌根菌接种效果差异, 因此建议: 为验证菌根菌野外接种效果, 试验中最好采用同一树种的无性系苗; 同时, 试验发现树种 × 菌根菌互作效应存在不稳定性, 其原因有待进一步研究。

参考文献

- [1] Cline M L, Reid C P P. Seed source and mycorrhizal fungus effects on growth of containerized *Pinus contorta* and *Pinus ponderosa* seedlings [J]. *Forest Sci*, 1982, 28(2): 237~ 250
- [2] Dixon R K, Garrett H E, Stelzer H E. Growth and ectomycorrhizal development of loblolly pine progenies inoculated with three isolates of *Pisolithus tinctorius* [J]. *Silvae Genetica*, 1987, 36(5~ 6): 240~ 245
- [3] Ekwebelam S A. Effect of mycorrhizal fungi on growth and nutrient uptake of three host varieties of Caribbean pine seedlings [J]. *Indian Forester*, 1984, 110(3): 242~ 252
- [4] Lange M. Mycorrhizal fungi in dependence on species of host tree and soil type [J]. *Svampe*, 1987, (16): 57~ 59
- [5] Theodorou C, Cameron J N, Bowen G D. Root characteristics of several *Pinus radiata* genotypes growing on different sites in Gippsland [J]. *Australian Forestry*, 1991, 54(1~ 2): 40~ 51
- [6] Walker C, McAbb H S. Mycorrhizal symbionts associated with hybrid poplars from Iowa, U SA [J]. *European J of Forest Pathology*, 1984, 14(4/5): 282~ 296
- [7] Marx D H. The influence of ectotropic mycorrhizal fungi on the resistance of pine roots to pathogenic infections. I. Antagonism of mycorrhizal fungi to root pathogenic fungi and soil bacteria [J]. *Phytopathology*, 1969, 59: 153~ 163
- [8] SAS. SAS/STAT user's guide for personal computers. Release 6.03 edition [M]. Gary, NC, U SA: SAS institute 1988
- [9] 卢纹岱, 金水高. SAS/PC 统计分析软件实用技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1996

Effect of Genotype and Ectomycorrhizal Fungal Inoculation on Growth of Eucalyptus Trees

ZHONG Chong-lu¹, GONG Ming-qin¹, XU Da-ping¹,
CHEN Yu¹, WANG Feng-zhen¹, NICHOLAS MALAJCZUK²

(1. Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou 510520, Guangdong, China;

2 CSIRO Forestry and Forest Products, WA 6014, Australia)

Abstract: Taking *Eucalyptus urophylla* and *E. grandis* × *urophylla*, as test materials, 2 mycorrhizal trials were conducted in 1993 and 1994 at Zhenhai Forest Farm, Kaiping of Guangdong Province. A split plot design was employed with 4 replicates, 2 host species, 8 ectomycorrhizal fungi and 6 or 9 trees per plot (experiment 1), or 3 ectomycorrhizal fungi and 9 trees per plot (experiment 2). After planting, tree height (H), diameter at ground level (D) and diameter at breast height (DBH) were measured at regular intervals. Effectiveness of isolates inoculated for *E. grandis* × *urophylla* were significantly different in all indexes between fungus treatments, by analysis of variation (ANOVA) for single species of data per experiment, the effectiveness of isolates for *Eucalyptus urophylla* were only significantly different in a few indexes between fungus treatments when using the same isolates as *E. grandis* × *urophylla*, which meant that tree genotype affected the effectiveness of ectomycorrhizal fungi in field; By ANOVA for 2 host species of data per experiment, order of variation composition for all indexes in experiment 1 was genotype effect > genotype × fungus interaction effect or fungus effect, the order for tree height in experiment 2 was genotype effect > genotype × fungus interaction effect or fungus effect, the order for DBH in experiment 2 was fungus effect > genotype effect > genotype × fungus interaction effect; In experiment 1, only D at 3 months after planting was significantly different between genotype × fungus interaction; In experiment 2, only tree heights at 6 months after planting was significantly different between the interaction. Finally, the role of tree genotype in applying ectomycorrhizal fungi was discussed.

Key words: *Eucalyptus*; ectomycorrhizal fungi; effect of inoculation