

文章编号: 1001-1498(2000)06-0569-08

澳大利亚 ECM 菌在尾叶桉上的 筛选及其接种效应*

陈应龙, 弓明钦, 徐大平, 仲崇禄, 王凤珍, 陈羽

(中国林业科学研究院 热带林业研究所, 广东 广州 510520)

摘要: 报道 43 种澳大利亚及 2 种国产外生菌根菌株在广东尾叶桉人工林上的筛选试验的初期研究结果。分别对试验林 6、12 和 24 个月的生长情况进行了调查, 数据分析结果表明, 与未接种对照林木相比, 接种试验林在树高和地径(或胸径)生长量上均表现出显著的接种优势($P < 0.01$); 接种林 3 次调查平均树高生长量最大增幅分别为 26.1%、33.7% 和 27.4%, 地径(或胸径)最大增幅分别为 19.2%、21.59% 和 19.32%; 24 个月时每公顷材积最大增幅为 56.8%。E0710(*Laccaria*)、H4670(*Labyrinthomyces*)、E4501(*Amanita*)、E2013(*Laccaria*)、C9301(*Pisolithus*)、H1272(*Scleroderma*)、H1194(*Thaxterogaster*)、H0603(*Scleroderma*)、H4011(*Labyrinthomyces*)、H1235(*Protuberata*) 等菌株对尾叶桉的促生效果较好。本试验初步筛选出多种优良菌株, 对华南地区尾叶桉人工林生产具有一定的应用前景。分析了各接种菌株对尾叶桉人工林前期接种效应及其相对稳定性, 并比较了菌种剂型对接种效应的影响情况。

关键词: 外生菌根菌; 尾叶桉人工林; 菌种筛选; 接种效应

中图分类号: S718.81

文献标识码: A

桉属(*Eucalyptus*) 树种天然分布于澳大利亚及印度尼西亚等地, 我国引种栽培桉树始于 1880 年, 已有一百多年历史^[1]。近些年来, 随着优良桉树种源和家系的引进, 我国桉树造林面积逐年增加, 成为华南地区林业生产经营中的重要树种, 其中尾叶桉(*Eucalyptus urophylla* S. T. Blake) 在华南地区荒山绿化和丰产林生产中的作用尤其重要。同其它桉树树种一样, 尾叶桉也是菌根营养型树种, 苗期对菌根的依赖性较大^[2-4]。调查研究表明, 我国南方桉树林中外生菌根菌资源相对贫乏, 蜡蘑(*Laccaria* spp.)、豆马勃(*Pisolithus* spp.) 及硬皮马勃(*Scleroderma* spp.) 等为数不多的几种外生菌根真菌, 虽然能与松属(*Pinus*) 树种共生, 但能否与引进的桉树根系形成较好的菌根, 以及菌种间的接种效果和其适应性、稳定性等问题, 均缺乏深入研究^[2]。中国林科院热带林业研究所同澳大利亚联邦科学与工业研究组织(CSIRO) 合作开展桉树菌根研究项目, 先后从澳大利亚引进外生菌根菌几十株, 分别在温室、苗圃和田间 3 个水平上开展了菌种筛选试验。在苗期试验基础上, 选用了多种来源于澳大利亚不同气候条件下的优良菌根菌株, 在我国华南和西南地区分别设立了热带桉及温带桉田间菌种筛选试验。本

收稿日期: 1999-10-14

基金项目: 中澳合作 ACIAR 项目(9425); 国家自然科学基金项目(39870614)

作者简介: 陈应龙(1969-), 男, 安徽潜山人, 助理研究员。

* 澳大利亚联邦科工组织林业研究所 M. Brundrett 博士、麦道克大学生物学院 B. Dell 及 N. Malajczuk 博士参与了有关研究工作, 大田试验得到广东省高要市林业局的大力支持, 特致谢意!

文仅报道广东高要尾叶桉菌种筛选试验的初步研究结果。

1 材料与方 法

1.1 树种和菌种

树种采用华南地区大面积推广的优良树种尾叶桉,种子为混合种源,由热林所良种室提供。供试的外生菌根菌株共45个,其中42个菌株引自澳大利亚,另3株分离于华南桉树人工林,菌种名录及其来源情况参见表1。试验采用了两种最常用的接种剂,即菌丝体菌剂和孢子悬浮液菌剂。菌丝体菌剂由菌丝体在培养液中振荡培养,经匀浆粉碎后配制而成,菌丝体质量浓度约 $50 \text{ mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ (干质量);孢子菌剂是将采集的子实体进行烘干、磨碎、过筛后,加水而成,每毫升约含 4.4×10^5 个孢子。幼苗移栽到育苗盘的同时进行接种,接种量均为每株3 mL。

1.2 试验设计及调查

试验地位于广东省西部高要市的回龙镇。前茬植被为马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)人工林,桃金娘[*Rhodomyrtus tomentosa* (Ait.) Hassk.]、芒箕[*Dicranopteris pedata* (Houtt.) Nakaike]等为林下植被中最常见植物。混合土壤营养情况:有机质 $13.298 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全N $0.646 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全P $0.143 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,全K $6.598 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效P $1.244 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效N $48.711 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效K $22.153 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,有效B $0.415 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,pH(水)4.04。试验地炼山后,挖穴。造林前,每穴施磷肥(14% P_2O_5)50 g,尿素(40%N)75 g, $\text{B}(\text{H}_3\text{BO}_3)$ 2 g, $\text{KCl}(60\% \text{K}_2\text{O})$ 75 g。

尾叶桉菌根苗在热林所苗圃生产,采用消毒的混合基质(蛭石:泥炭:河沙=1.5:1:2)作为育苗基质。种子经表面消毒后播种于消毒基质,1个月后移苗至育苗盘中,同时完成菌根菌接种。菌根化苗在苗圃生长5个月后出圃。

试验采用完全随机区组设计,菌根菌处理数46个(含未接种对照1个),每个小区(处理)2行16株苗木,4个区组(重复),处理间及区组间均有隔离株和隔离行,株行距为 $1.5 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 。造林后6个月调查树高(H_{6M})和地径(D_{6M}),12个月和24个月时各测定一次树高和胸径(H_{12M} 、 D_{12M} 、 H_{24M} 和 D_{24M})。根据树高和胸径,按公式 $V = H \times D^2 / 30\,000$ 计算出24个月时的材积^[5]。试验数据在SAS(Release 6.12)统计软件上进行方差分析及Duncan's多重比较^[6]。

2 结果与分析

2.1 菌根接种效应

方差分析结果表明,在生长指标 H_{12M} 、 H_{24M} 、 D_{24M} 及 V_{24M} 上菌种间均有极显著的差异($P < 0.01$),在 H_{6M} 、 D_{12M} 上差异显著($P < 0.05$),但对 D_{6M} 差异不显著($P < 0.1$)(表2)。菌株接种后能显著促进林木的生长,表现出较好的接种优势(表3)。

6个月时,接种林平均树高(H_{6M})在2.62~3.23 m,未接种对照林平均树高为2.56 m,低于所有接种处理。在45个供试菌株中,有34个菌株接种处理林木高生长量增幅超过10%,其中超过15%的有20个,超过20%的有4个,最大增幅为26.17% [$\text{H4670}(\text{Labyrinthomyces})$]。接种林地径平均变化范围在3.78~4.39 cm之间,比未接种林(3.68 cm)增加2.72%~19.29%。

造林后12个月时接种处理平均树高(H_{12M})在3.50~4.64 m之间,平均地径5.49~6.59 cm,而对照林分别为3.47 m和5.42 cm,低于接种林相应指标(表3)。有30个菌种对林木的

表1 菌根筛选试验菌种名录及其来源

编号	菌株	菌种(属名)	剂型 ^①	菌种来源	宿主树种
1	H1124	<i>Scleroderma</i>	MI	塔斯马尼亚	<i>Eucalyptus globulus</i> Labill.
2	H1247	<i>Scleroderma</i>	MI	塔斯马尼亚	<i>E. globulus</i> Labill.
3	H2000	<i>Scleroderma</i>	MI	西澳	<i>E. robusta</i> Smith
4	H0603	<i>Scleroderma</i>	MI	西澳	
5	H1272	<i>Scleroderma</i>	MI	塔斯马尼亚	<i>E. viminalis</i> Labill.
6	H4353	<i>Scleroderma</i>	MI	昆士兰	<i>Acacia littoralis</i>
7	H0630	<i>Scleroderma</i>	MI	西澳	
8	H4493	<i>Scleroderma</i>	MI	昆士兰	<i>A. torulosa</i>
9	E1108	<i>Laccaria</i>	MI	塔斯马尼亚	<i>E. globulus</i> Labill.
10	E1130	<i>Laccaria</i>	MI	塔斯马尼亚	<i>E. nitens</i> Maiden
11	E2013	<i>Laccaria</i>	MI	西澳	<i>A. huegliana</i>
12	E0710	<i>Laccaria</i>	MI	西澳	<i>E. globulus</i> Labill. <i>E. viminalis</i> Labill.
13	E4955	<i>Laccaria</i>	MI	塔斯马尼亚	<i>E. globulus</i> Labill. <i>E. nitens</i> Maiden
14	H0445	<i>Pisolithus</i>	MI	西澳	<i>E. marginata</i>
15	H4742	<i>Pisolithus</i>	MI	昆士兰	<i>E. grandis</i> W. Hill ex Maiden
16	H6291	<i>Pisolithus</i>	MI	昆士兰	<i>A. sp.</i> , <i>Syncarpia sp.</i> , <i>Lophostemon sp.</i>
17	H4670	<i>Labyrinthomyces</i>	MI	昆士兰	
18	H4011	<i>Labyrinthomyces</i>	MI	昆士兰	<i>A. littoralis</i> , <i>E. tereticornis</i> Smith
19	H4854	<i>Hydnangium</i>	MI	塔斯马尼亚	<i>E. nitens</i> Maiden
20	H1194	<i>Thaxterogaster</i>	MI	塔斯马尼亚	<i>E. viminalis</i> Labill.
21	H1231	<i>Thaxterogaster</i>	MI	塔斯马尼亚	<i>E. globulus</i> Labill.
22	H1330	<i>Hymenogaster</i>	MI	塔斯马尼亚	<i>E. sp.</i>
23	H4863	<i>Descomyces</i>	MI	塔斯马尼亚	<i>E. nitens</i> Maiden
24	H1047	<i>Descomyces</i>	MI	西澳	<i>E. globulus</i> Labill.
25	H1032	<i>Hysterangium</i>	MI	塔斯马尼亚	<i>E. globulus</i> Labill.
26	H4527	<i>Reddellomyces</i>	MI	昆士兰	<i>E. grandis</i> W. Hill ex Maiden
27	E1115	<i>Descolea</i>	MI	西澳	<i>E. globulus</i> Labill.
28	H4317	<i>Setchelligaster</i>	MI	西澳	<i>E. globulus</i> Labill.
29	H1235	<i>Protuberia</i>	MI	西澳	<i>E. globulus</i> Labill.
30	E4501	<i>Amanita</i>	MI	昆士兰	<i>A. littoralis</i>
31	H2007	<i>Hydnangium</i>	MI	西澳	<i>A. huegliana</i>
32	LE027	<i>Descolea</i>	MI	西澳	<i>E. globulus</i> Labill.
33	LE043	<i>Laccaria</i>	MI	西澳	<i>E. globulus</i> Labill.
34	LE044	<i>Laccaria</i>	SI	西澳	<i>E. globulus</i> Labill.
35	LH022	<i>Pisolithus</i>	SI	西澳	<i>E. sp.</i>
36	LH028	<i>Pisolithus</i>	SI	西澳	<i>E. sp.</i>
37	LH043	<i>Pisolithus</i>	SI	西澳	<i>E. globulus</i> Labill.
38	LH032	<i>Hydnangium</i>	SI	西澳	<i>E. globulus</i> Labill.
39	LH058	<i>Hysterangium</i>	SI	西澳	<i>E. globulus</i> Labill.
40	LH050	<i>Scleroderma</i>	SI	西澳	<i>E. globulus</i> Labill.
41	LH051	<i>Scleroderma</i>	SI	西澳	<i>E. globulus</i> Labill.
42	LH052	<i>Scleroderma</i>	SI	西澳	<i>E. globulus</i> Labill.
43	C9301 ^②	<i>Pisolithus</i>	MI	广东	<i>Pinus sp.</i> , <i>E. sp.</i>
44	C9302	<i>Scleroderma</i>	MI	广东	<i>E. sp.</i>
45	C9303	<i>Pisolithus</i>	MI	广东	<i>E. sp.</i>
46	CK	对照	—	—	—

①剂型(接种形式): MI= 菌丝体菌剂, SI= 孢子菌剂。

②C9301 菌株分离于广东开平市镇海林场 ACIAR 1992 年桉树菌根试验林, 为引进澳大利亚菌种 4111 菌株的第二代。

表2 试验林生长量方差分析

指标	变异来源	自由度	平方和	均方	F值
H_{6M}	区组间	3	9.551 8	3.183 9	7.25***
	菌种间	45	30.712 8	0.682 5	1.55*
	区组×菌种	135	136.063 7	1.007 9	2.30***
D_{6M}	区组间	3	35.022 2	11.674 1	13.12***
	菌种间	45	39.958 4	0.888 0	1.00NS
	区组×菌种	135	184.718 2	1.368 3	1.54***
H_{12M}	区组间	3	33.975 7	11.325 2	13.35***
	菌种间	45	125.961 7	2.799 1	3.30***
	区组×菌种	135	389.730 0	2.886 9	3.40***
D_{12M}	区组间	3	98.371 7	32.790 6	17.91***
	菌种间	45	107.293 2	2.384 3	1.30*
	区组×菌种	135	400.770 8	2.968 7	1.62***
H_{24M}	区组间	3	94.571 2	31.523 7	11.79***
	菌种间	45	240.310 6	5.340 3	2.00***
	区组×菌种	135	868.996 4	6.437 0	2.41***
D_{24M}	区组间	3	94.571 2	31.523 7	11.79***
	菌种间	45	240.310 6	5.340 2	2.00***
	区组×菌种	135	868.996 4	6.437 0	2.41***
V_{24M}	区组间	3	10 124.044 5	3 374.681 5	5.18***
	菌种间	45	63 866.678 0	1 419.259 5	2.18***

注: 显著性水平: $P < 0.01$ (***), $P < 0.05$ (**), $P < 0.1$ (*)。

促生作用超过 10%, 其中, 菌株 E0710 效果最好, 对高及地径生长量分别增加 33.72% 和 21.59%。

24 个月时, 对照林平均树高和胸径分别为 8.23 m 和 7.30 cm, 而接种林平均树高与胸径变化范围分别在 10.49~7.99 m 和 8.71~6.89 cm, 除了 H4353、H4317、LH028 等少数菌株平均值略低于对照外, 其余 40 多个接种菌株都显著优于未接种对照。接种有 H4670、E0710、H1247、H1124、H1272、H1194 和 E4501 菌株的林木, 其高生长量超过对照 20% 以上。在材积方面, 各菌株表现出较大的差异(表 3), 菌株 E0710、H1247、H4670 和 H1124 接种林材积分别为 62.6、61.3、58.5 和 56.2 $m^3 \cdot hm^{-2}$, 比未接种对照林分别增加 56.8%、53.6%、46.4% 和 40.8%, 但 H4317、H4353 等 12 个菌株接种后对材积的贡献作用不显著, 甚至差于未接种处理。

2.2 各菌株接种效应及其稳定性比较

根据试验林有关生长指标的 3 次调查结果, 综合分析了各菌株的接种效应。45 个菌株均优于对照, 即对照综合名次排列在 46 位(表 4)。对尾叶桉林木生长促进作用最大的 10 个菌株依次为: E0710、H4670、E4501、E2013、C9301、H1272、H1194、H0603、H4011、H1235。分析结果显示, 菌根菌较好的接种效应, 同时, 各菌株间在接种效应上的稳定性有所差异, 例如菌株 E0710、H4670、E2013、C9301、E4501、H4011 等对林木生长的稳定性较好, 而菌株 H4353、C9303 等稳定性较差。另外, 各菌株对不同生长指标的作用效果也有一定的差异。这些结果表明了不同菌株对尾叶桉生长量的持续影响存在差异, 这种差异在一定程度上也反应了菌株的适应性和亲和性。

表 3 菌根接种效应及多重比较

编号	菌株	12 月时的接种效应				24 个月时的接种效应				V _{24M} 均值/ (m ³ ·hm ⁻²)	增长/ %
		H _{12M} 均值/m	增长/ %	D _{12M} 均值/cm	增长/ %	H _{24M} 均值/m	增长/ %	D _{24M} 均值/cm	增长/ %		
1	H1124	4.15 _{a-j}	19.60	6.02 _{a-d}	11.07	10.15 _{a-d}	23.33	8.25 _{a-d}	13.01	56.25 _{a-d}	40.80
2	H1247	4.32 _{a-c}	24.50	6.24 _{a-b}	15.13	10.36 _{a-c}	25.88	8.65 _{a-b}	18.49	61.38 _{a-b}	53.65
3	H2000	4.13 _{a-k}	19.02	5.86 _{a-c}	8.12	9.45 _{e-i}	14.82	7.39 _{e-g}	1.23	43.92 _{e-h}	9.94
4	H0603	4.36 _{a-e}	25.65	6.32 _{a-b}	16.61	9.53 _{b-i}	15.80	8.09 _{a-e}	10.82	51.01 _{a-g}	27.69
5	H1272	4.41 _{a-d}	27.09	6.06 _{a-d}	11.81	9.95 _{a-f}	20.90	8.26 _{a-d}	13.15	53.68 _{a-f}	34.37
6	H4353	3.74 _{f-l}	7.78	5.79 _{a-d}	6.83	8.06 _p	-2.07	6.82 _g	-6.58	32.47 _h	-18.73
7	H0630	3.79 _{e-l}	9.22	6.05 _{a-d}	11.62	9.23 _{d-m}	12.15	7.60 _{b-g}	4.11	42.24 _{e-h}	5.74
8	H4493	3.98 _{b-l}	14.70	6.01 _{a-d}	10.89	9.16 _{e-n}	11.30	7.71 _{a-g}	5.62	44.49 _{e-h}	11.38
9	E1108	3.98 _{b-l}	14.70	6.19 _{a-b}	14.21	8.88 _{l-p}	7.90	7.58 _{b-g}	3.84	44.91 _{b-h}	12.42
10	E1130	3.98 _{b-l}	14.70	6.13 _{a-d}	13.10	9.39 _{d-j}	14.09	8.00 _{a-e}	9.59	49.86 _{a-g}	24.80
11	E2013	4.42 _{a-c}	27.38	6.53 _a	20.48	9.43 _{d-i}	14.58	8.19 _{a-e}	12.19	51.68 _{a-g}	29.36
12	E0710	4.64 _a	33.72	6.59 _a	21.59	10.38 _{a-b}	26.12	8.71 _a	19.32	62.65 _a	56.82
13	E4955	3.76 _{f-l}	8.36	5.91 _{a-d}	9.04	8.61 _{i-o}	4.62	7.23 _{d-g}	-0.96	36.48 _{h-g}	-8.68
14	H0445	3.69 _{i-l}	6.34	5.99 _{a-d}	10.52	8.45 _{k-p}	2.67	7.55 _{e-g}	3.42	39.20 _{d-g}	-1.87
15	H4742	3.74 _{g-l}	7.78	6.10 _{a-d}	12.55	9.12 _{l-o}	10.81	7.66 _{a-g}	4.93	43.56 _{e-h}	9.05
16	H6291	3.85 _{e-l}	10.95	5.78 _{a-d}	6.64	8.41 _{k-o}	2.19	7.36 _{e-g}	0.82	37.62 _{f-h}	-5.83
17	H4670	4.54 _{a-b}	30.84	6.50 _{a-b}	19.93	10.49 _a	27.46	8.24 _{a-d}	12.88	58.51 _{a-c}	46.45
18	H4011	4.17 _{a-i}	20.17	6.34 _{a-c}	16.97	9.68 _{a-f}	17.62	7.98 _{a-e}	9.32	51.58 _{a-g}	29.12
19	H4854	4.01 _{b-l}	15.56	6.22 _{a-d}	14.76	9.63 _{a-f}	17.01	7.58 _{b-g}	3.84	45.32 _{b-h}	13.43
20	H1194	4.35 _{a-h}	25.36	6.06 _{a-d}	11.81	10.01 _{a-e}	21.63	8.26 _{a-d}	13.15	54.73 _{a-e}	37.00
21	H1231	3.71 _{a-c}	6.92	6.12 _{a-d}	12.92	8.32 _{m-p}	1.09	7.23 _{d-g}	-0.96	38.83 _{e-h}	-2.81
22	H1330	4.21 _{a-i}	21.33	6.24 _{a-d}	15.13	9.26 _{d-m}	12.52	7.98 _{a-e}	9.32	47.63 _{a-h}	19.24
23	H4863	4.25 _{a-h}	22.48	6.01 _{a-d}	10.89	9.61 _{a-h}	16.77	7.82 _{a-g}	7.12	47.36 _{a-h}	18.55
24	H1047	3.72 _{g-l}	7.20	5.66 _{b-c}	4.43	9.28 _{d-l}	12.76	7.52 _{e-g}	3.01	42.82 _{e-h}	7.19
25	H1032	3.68 _{i-l}	6.05	5.80 _{a-d}	7.01	9.04 _{f-o}	9.84	7.35 _{d-g}	0.68	39.93 _{e-h}	-0.05
26	H4527	3.59 _{j-l}	3.46	5.86 _{a-d}	8.12	8.36 _{l-p}	1.58	7.44 _{e-g}	1.92	40.23 _{e-h}	0.71
27	E1115	4.17 _{a-i}	20.17	6.14 _{a-d}	13.28	9.34 _{d-k}	13.49	8.16 _{a-e}	11.78	47.96 _{a-h}	20.05
28	H4317	3.56 _{k-l}	2.59	5.60 _{b-c}	3.32	7.99 _p	-2.92	6.89 _{g-f}	-5.62	32.18 _h	-19.45
29	H1235	4.30 _{g-l}	23.92	6.35 _{a-c}	17.16	9.51 _{b-i}	15.55	8.17 _{a-e}	11.92	53.09 _{a-g}	32.90
30	E4501	4.29 _{a-g}	23.63	6.38 _{a-b}	17.71	9.98 _{a-f}	21.26	8.21 _{a-d}	12.47	53.49 _{a-g}	33.91
31	H2007	3.84 _{d-l}	10.66	5.97 _{a-d}	10.15	8.40 _{k-p}	2.07	7.34 _{d-g}	0.55	37.57 _{f-h}	-5.95
32	LE027	3.70 _{b-l}	6.63	5.86 _{a-d}	8.12	8.71 _{l-p}	5.83	7.55 _{e-g}	3.42	41.06 _{e-h}	2.79
33	LE043	4.08 _{b-k}	17.58	5.91 _{a-d}	9.04	9.23 _{d-m}	12.15	7.63 _{b-g}	4.52	43.84 _{e-h}	9.74
34	LE044	3.86 _{e-l}	11.24	6.23 _{a-d}	14.94	9.23 _{d-m}	12.15	7.95 _{a-f}	8.90	47.11 _{a-h}	17.92
35	LH022	4.08 _{b-k}	17.58	6.08 _{a-d}	12.18	9.40 _{d-i}	14.22	7.87 _{a-g}	7.81	47.85 _{a-h}	19.79
36	LH028	3.50 _l	0.86	5.49 _{e-d}	1.29	8.22 _{o-p}	-0.12	7.12 _{e-g}	-2.47	36.79 _{f-h}	-7.92
37	LH043	3.98 _{b-l}	14.70	6.46 _{a-b}	19.19	9.25 _{d-m}	12.39	8.45 _{a-c}	15.75	51.84 _{a-g}	29.76
38	LH032	3.81 _{d-l}	9.80	5.97 _{a-d}	10.15	8.70 _{l-p}	5.71	7.72 _{a-g}	5.75	41.25 _{d-g}	3.26
39	LH058	4.21 _{a-i}	21.33	5.95 _{a-d}	9.78	9.32 _{d-k}	13.24	7.68 _{a-g}	5.21	43.88 _{e-h}	9.83
40	LH050	4.11 _{a-k}	18.44	6.08 _{a-d}	12.18	9.04 _{l-o}	9.84	7.72 _{a-g}	5.75	46.43 _{b-h}	16.21
41	LH051	4.12 _{a-k}	18.73	6.04 _{a-d}	11.44	8.74 _{l-p}	6.20	7.78 _{a-g}	6.58	44.95 _{b-h}	12.52
42	LH052	3.98 _{b-l}	14.70	6.25 _{a-d}	15.31	9.03 _{l-o}	9.72	7.98 _{a-e}	9.32	46.81 _{a-h}	17.18
43	C9301	4.46 _{a-b}	28.53	6.48 _{a-b}	19.56	9.53 _{b-i}	15.80	8.14 _{a-e}	11.51	52.31 _{a-g}	30.94
44	C9302	3.77 _{f-l}	8.65	5.91 _{a-d}	9.04	9.15 _{e-m}	11.18	7.86 _{a-g}	7.67	44.99 _{b-h}	12.61
45	C9303	4.32 _{a-f}	24.50	6.35 _{a-b}	17.16	9.48 _{b-i}	15.19	8.01 _{a-e}	9.73	49.65 _{a-g}	24.27
46	Cont.	3.47 _l	0	5.42 _d	0	8.23 _{n-p}	0	7.30 _{d-g}	0	39.95 _{e-h}	0

注: 生长指标均值栏同列字母相同者表明差异不显著(Duncan's 检验, α= 0.05, df= 1 372)。限于篇幅表中未列出 6 个月时的生长量。

表4 各菌株接种效应综合比较

菌株	H_{6M}	D_{6M}	H_{12M}	D_{12M}	H_{24M}	D_{24M}	V_{24M}	综合名次
E0710	2	3	1	1	2	1	1	1
H4670	1	2	2	3	1	7	3	2
E4501	7	4	11	6	6	8	7	3
E2013	5	5	4	2	16	9	11	4
C9301	3	17	3	4	11	12	9	5
H1272	6	8	5	24	7	5	6	6
H1194	10	13	7	23	5	4	5	7
H0603	15	11	6	10	12	13	13	8
H4011	9	10	16	9	8	16	12	9
H1235	11	30	10	7	13	10	8	10
H1247	23	41	8	13	3	2	2	11
H1124	13	26	17	27	4	6	4	12
C9303	25	18	9	8	14	14	15	13
H1330	17	15	14	12	22	18	18	14
LH022	19	12	22	21	17	20	17	15
H4854	14	23	23	15	9	31	23	16
H4863	18	28	12	29	10	22	19	17
E1115	27	35	15	17	19	11	16	18
LH043	32	39	28	5	23	3	10	19
E1130	35	22	25	18	18	15	14	20
CK	46	46	46	46	43	41	37	46

注: 同列数据表示各菌株对该生长指标贡献大小而排列的次序, 次序越前表示贡献越大。表中仅列举前20名菌株及对照。

2.3 剂型对接种效应的影响

本试验采用两种剂型进行接种, 即菌丝体菌剂和孢子剂型(表1), 不同剂型对苗木高生长量的影响差异极显著($P < 0.01$), 对地径或胸径生长差异显著(表5)。在总体上, 两种剂型的菌剂田间接种均能促进尾叶桉林木的生长, 其中菌丝体剂型的接种效应要优于孢子剂型, 说明采用菌丝体剂型可能更适合于尾叶桉接种。

表5 菌丝体和孢子剂型对树木生长影响比较

剂型	$H_{6M}/$ m	增加/ %	$D_{6M}/$ cm	增加/ %	$H_{12M}/$ m	增加/ %	$D_{12M}/$ cm	增加/ %	$H_{24M}/$ m	增加/ %	$D_{24M}/$ cm	增加/ %
菌丝体(MI)	2.91 a	13.67	4.08 a	10.87	4.06 a	17.00	6.10 a	12.55	9.27 a	12.36	7.79 a	6.71
孢子(SI)	2.87 b	12.11	4.02 a	9.24	3.95 a	13.83	6.03 a	11.25	8.99 b	8.97	7.81 a	6.99
对照(CK)	2.56 c	0	3.68 b	0	3.47 b	0	5.42 b	0	8.25 c	0	7.3 b	0
显著性	***	-	**	-	***	-	*	-	***	-	**	-

注: 显著性水平: $P < 0.01$ (***), $P < 0.05$ (**), $P < 0.1$ (*); 生长指标栏同列字母相同者表示差异不显著($\alpha = 0.05$, $df = 1372$)。

3 结论与讨论

(1) 试验结果表明, 接种菌根菌能促进林木的生长, 表现出良好的接种优势。在温室及苗圃试验的基础上, 开展田间菌种筛选试验, 进一步验证各菌株的大田接种效应并研究菌种的持续性, 这不仅是对前期工作的深入研究, 而且也是菌根研究的必然要求。试验初步筛选出10多种尾叶桉优良菌根菌菌株, 其中, 菌株E0710、H4670、E2013、E4501、C9301、H1272、H1194、

H0603、H4011、H1235 等效果尤其显著。而 H4317、H4353 等一些菌株促生作用较差, 初步认为不适宜在该土壤条件下应用。

(2) 不同剂型对接种效应的影响有一定的差异, 从总体上来说, 采用菌丝体接种要优于孢子接种。这可能是由于孢子接种后进行萌发需要适宜的水分等条件, 同时, 也需要一定的时间发展菌丝体; 而接种菌丝体, 可以在繁殖的同时直接进行根系的侵染, 因此更容易与根系形成菌根。在菌剂生产上, 菌丝体菌剂通常要通过液体培养进行扩大繁殖, 因此在大规模应用上尚有一定的困难, 但试验表明, 菌丝体菌剂是促进华南地区桉树菌根化最常用的接种途径之一^[7]。孢子菌剂是一种经济型接种方式, 在许多试验研究和商业应用上得到了较好的发展^[8]。采用孢子接种, 其接种效应还有待于进一步评价。

(3) 各菌株对林木高生长及地径生长的影响有一定的差异。在接种 6 个月时, 接种林树高生长量与对照差异极显著, 但在地径上差异不显著, 这说明在接种初期菌根菌对林木的高生长影响要大于对地径生长的影响, 同时也说明试验分析所采用的生长指标对评价菌根接种效应会有一些影响, 因为从理论上来说, 地径生长的变化情况更能说明林木的生长状况。本试验 3 次调查数据说明, 虽然所有接种菌株在初期均能促进林木的生长, 但各菌株在不同时期的相对作用效果有一定的差异, 即菌株间接种效应的持续性不同。试验表明, 菌株 H4670、E0710、C9301、E2013、E4501 和 H4011 等稳定性较大, 而菌株 H4353、LH058、C9303 等稳定性较差。本文仅为 24 个月的调查结果, 各菌株对尾叶桉田间作用效果还会有变化, 将对此作进一步的研究。

(4) 关于菌根菌田间竞争性和持久性问题, 近年来得到菌根界的普遍重视, 尤其是商业化的菌种(株), 其持久性与高效性同等重要。对菌根菌持续性的研究, 通常采用检查菌根的合成及子实体的形成情况进行监测。法国 INRA 林业微生物研究所曾先后对引自美国的双色腊蘑 [*Laccaria bicolor* (Maire) P. D. Orton] 菌株 S238N 在法国人工林中的持久性进行了长期研究, 在形态学研究的基础上, 采用 ITS-RFLP 技术及 RAPD 图谱, 对该菌株的持续性进行了分析^[9]。在这一试验的基础上, 将对菌根菌的长期效应进行研究, 同时对引进的菌株的竞争力与持续性进行检测。

参考文献:

- [1] 白嘉雨, 徐建民. 桉树的引入对经济及文化的影响 [A]. 纪念中国桉树 100 周年国际桉树学术研讨会论文集 [C]. 北京: 中国林业出版社, 1991, 181.
- [2] 弓明钦, 陈应龙, 仲崇禄. 菌根研究及应用 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1997.
- [3] Chen Yingong, Gong Mingqin, Wang Fengzhen, et al. Effect on growth of *Eucalyptus* by inoculation with ECM and VAM fungi [A]. In: Proceedings of IUFRO Conference on Silviculture and Improvement of Eucalypts [C]. Salvador, Brazil, August 24~ 29, 1997, 174~ 179.
- [4] Chen Yinglong, Brundrett M C, Dell B. Effects of ectomycorrhizas and vesicular-arbuscular mycorrhizas, alone or in competition, on root colonization and growth of *Eucalyptus globulus* and *E. urophylla* [J]. New Phytologist 2000, 146: 545~ 556.
- [5] Mckenney D W, Davis J S, Turnbull J W, et al. The impact of Australian tree species research in China [M]. Canberra: ACIAR Economic Assessment Series, 1991, (12): 6~ 7.
- [6] SAS. SAS/STAT User's Guide for Personal Computers (Release 6.08) [M]. Gary, NC, USA: Institute, 1988.
- [7] 弓明钦, 王凤珍, 陈羽. 桉树外生菌根研究及其进展 [J]. 土壤学报, 1994, 31(增刊): 127~ 133.
- [8] Lu X, Malajczuk N, Dell B. Mycorrhiza formation and growth of *Eucalyptus globulus* seedlings inoculated with spores of var

ious ectomycorrhizal fungi [J]. Mycorrhiza, 1998, 8: 81~ 86.

- [9] Selosse M A, Martin F, Le Tacon F. Survival of an ectomycorrhizal Temporal persistence and spatial distribution of an American inoculant strain of the ectomycorrhizal basidiomycete *Laccaria bicolor* in a French forest plantation [J]. Molecular Ecology, 1998, 7: 561~ 573.

Screening and Inoculant Efficacy of Australian Ectomycorrhizal Fungi on *Eucalyptus urophylla* in Field

CHEN Ying-long, GONG Ming-qin, XU Da-ping,

ZHONG Chong-lu, WANG Feng-zhen, CHEN Yu

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

Abstract: A large field trial of *Eucalyptus urophylla* inoculated with 43 Australian ectomycorrhizal fungal isolates and 2 indigenous isolates was established at Gaoyao, Guangdong Province to ascertain their compatibility and inoculum efficacy on host growths. Measurements for tree growth were carried out at 6 and 12 months respectively after the establishing of the plantations. There was significantly difference on the increment of both height and diameter breast-high between inoculated treatments and blank controls ($P < 0.01$). The increase of heights was up to 27.4% at 24 months after transplanting, and 19.3% for basal diameter. The results demonstrated that all fungal isolates could greatly enhanced the growths of *E. urophylla* at early stage of this research. Fungal isolates E0710 (*Laccaria*), H4670 (*Labyrinthomyces*), E4501 (*Amanita*), E2013 (*Laccaria*), C9301 (*Pisolithus*), H1272 (*Scleroderma*), H1194 (*Thaxterogaster*), H0603 (*Scleroderma*), H4011 (*Labyrinthomyces*), H1235 (*Protuberata*) were proved to be more efficient for *E. urophylla* than others, and have great potential for commercial inoculation programs in southern China. The variety of effects of two inoculum types (either spore suspension or cultured mycelium) was also discussed. More attention will be put on the persistence of introduced fungal isolates in field.

Key words: ectomycorrhizal (ECM) fungi; *Eucalyptus urophylla* plantation; fungal screening; inoculant efficacy