

文章编号: 1001-1498(2001)05-0515-08

外生菌根菌接种对红椎生长 及光合作用的影响*

陈应龙, 弓明钦, 陈羽, 王凤珍

(中国林业科学研究院 热带林业研究所, 广东 广州 510520)

摘要: 接种 11 种外生菌根菌株对红椎苗期生长产生了影响。试验苗 26 周时测定的各生长指标统计分析结果表明, 接种处理间在干质量、苗高、地径、须根数等指标上均有极显著或显著差异 ($P < 0.01$); 与未接种对照苗相比, 接种苗平均高增加 20% ~ 75%, 地径增加 50% ~ 105%, 须根数增加 41% ~ 245%, 干质量增加 100% 以上。试验表明, 菌根菌接种不仅显著促进植株地上部分的生长, 且有利于根系的发展。另外, 不同菌株对红椎根系亲和力的差异性, 反映出宿主对各菌根菌株的不同依赖性。菌根菌接种还对试验苗净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度、光合耗水量等有一定的影响。菌株 *Pisolithus* C9132, MH727, C9216, *Rhizopogon* 9480, *Tricholoma* 9810 等对红椎苗期生长效果较好, 为优良菌株, 可用于红椎苗期接种。

关键词: 红椎; 外生菌根菌; 接种效应; 光合作用

中图分类号: S718.81 **文献标识码:** A

红椎 (*Castanopsis hystrix* A. DC.), 又称红椎栗、刺栲、赤黎、红黎、刺黎, 为壳斗科 (Fagaceae) 树种, 在我国主要分布于福建、湖南南部、广东、广西、贵州西南、西藏东南等地区^[1], 越南、老挝、缅甸、印度等国家也有分布。红椎是我国南方重要乡土阔叶用材树种, 适宜在年均温 18~ 24 °C、年积温 6 000~ 8 000 °C (10 °C)、年降雨量 1 200~ 2 000 mm、海拔 100~ 1 900 m 的山地地带生长, 是松、杉混交造林的最佳伴生树种。由于红椎具有生长快、材质优、适应性强、效益高等优良特性, 在我国南方用材林、水源林、薪炭林中均占有重要的地位^[2~4]。

调查和研究表明, 壳斗科树种均为菌根营养型树种, 是多种担子菌、子囊菌的优良宿主。据调查, 在广西蒲北地区红椎林下有多种外生菌根菌, 其中, 以鳞盖红菇 [*Russula lepida* (Fr.) Fries] 数量最多, 该菌为当地老百姓喜爱的美味食用菌之一, 被称为“红椎菌”; 具有一定商业价值^[5]。除此以外, 未见有红椎菌根及接种效应方面的报道。本研究采用 11 个外生菌根菌株, 对红椎进行接种, 在菌根合成的基础上, 分析菌根菌的接种效应对光合作用的影响, 旨在为红椎这一乡土树种筛选优良菌根菌种或菌株, 以促进其苗期生长。

1 材料与方法

1.1 试验材料

收稿日期: 2000-05-26

作者简介: 陈应龙 (1969-), 男, 安徽潜山人, 助理研究员。

* 试验工作得到广州市林业科技推广站郑政明站长的大力支持, 本所育种室陈祖旭先生、刘水娥女士等在红椎育苗方面给予了指导和帮助, 特此致谢。

1.1.1 供试苗木 采用红椎实生苗进行试验,待幼苗长到3~4 cm高时,挑选生长良好、大小基本一致的苗木移栽到预先装有消毒基质的育苗袋中(直径12 cm)。

1.1.2 供试菌种 试验采用了11个外生菌根菌株,隶属7个属,其中,黑孢块菌、松口蘑、须腹菌等为著名共生型食用菌(表1)。

表1 接种处理及菌种名称、来源、宿主范围

处理号	菌株号	菌种名	中文名	来源	宿主树种
1	C9216	<i>Pisolithus tinctorius</i> (Pers.)Cooker & Couch	彩色豆马勃	中国海南	松科、桃金娘科、壳斗科
2	E4100	<i>Laccaria laccata</i> (Scop.:Fr)Berk et Br	漆蜡蘑	澳大利亚	松科、桃金娘科、壳斗科
3	9606*	<i>Tricholoma matsutake</i> (Ito ex Inai)Sing	松口蘑	日本广岛	松科
4	9803*	<i>Tuber melanosporum</i> Vittad	黑孢块菌	中国台湾	壳斗科
5	9480*	<i>Rhizogogon piceus</i> Berk. et Curt	须腹菌	中国广东	松科、壳斗科
6	MH727	<i>Pisolithus tinctorius</i> (Pers.)Cooker & Couch	彩色豆马勃	澳大利亚	松科、桃金娘科、壳斗科
7	C9215	<i>Sclerodma cepa</i> Persoon	硬皮马勃	中国广东	松科、桃金娘科、壳斗科
8	924*	<i>Tricholoma matsutake</i> (Ito ex Inai)Sing	松口蘑	中国云南	松科、壳斗科
9	9810*	<i>Tricholoma matsutake</i> (Ito ex Inai)Sing	松口蘑	中国云南	松科、壳斗科
10	NB146	<i>Descolea maculata</i> Bougher & Malajczuk	圆头伞	澳大利亚	松科、桃金娘科
11	C9132	<i>Pisolithus tinctorius</i> (Pers.)Cooker & Couch	彩色豆马勃	中国华南	松科、桃金娘科、壳斗科
12	CK	对照	-	-	-

注:带*菌种为菌根食用菌,松科(Pinaceae);桃金娘科(Myrtaceae)。

1.1.3 试验基质 试验基质使用经高温消毒(121~126 ℃,30 min)的混合基质,由蛭石、泥炭、河沙按体积比1.5:1:2混匀,其主要营养成分及含量为:有机质(13.895%)、全N(0.0298%)、全P(0.0147%)、全K(1.959%)、速效P(0.7081%)、pH(5.0,土/水=1/2.5)。

1.2 试验方法

1.2.1 试验设计 采用接种处理单因素完全随机设计,接种处理12个(含对照),每处理试验苗15株(袋),3次重复。试验苗育种、上袋、接种均在温室内完成,接种2周后移至苗圃试验地,随机放置,按照常规育苗方法进行管理。

1.2.2 接种方法 菌剂是由摇床振荡培养的外生菌根菌的菌丝体,经匀浆粉碎后配制而成,菌丝体浓度约50 mg·mL⁻¹(干质量)。移苗3 d后采用根际注入法进行接种,接种量为5 mL。

1.3 生长指标的测定

接种后每隔4周进行一次苗高生长量测定,本文以8、16、20、24周时分别测定的苗高生长量进行统计分析(分别以 H_{8w} 、 H_{16w} 、 H_{20w} 、 H_{24w} 表示)。根据试验苗前期高生长曲线,在26周时收获试验苗,并测定有关指标,包括苗高(H_{26w})、地径(D)、根长(RL)、须根数(LRN)、叶片数(LN)、地上生物量(TDW)及地下生物量(RDW);同时检查菌根合成情况^[6]。

1.4 光合及蒸腾特性的测定

在试验苗生长旺盛期(接种16周时),分别从各处理中挑选生长适中的5株试验苗,在CI-301PS型光合作用测定仪上测定试验苗第1~3对初展叶的光合强度。测定时采用室内灯光照射,光强为6 000 lx;温、湿度相对恒定。叶室温度及叶表温度 T 、相对湿度 RH 、净光合速率 P_n 、蒸腾速率 E 、气孔导度 G_s 、细胞间隙 CO_2 浓度 C_i 等均由该测定仪测出或计算得出。光合耗水量为蒸腾速率 E 与净光合速率 P_n 的比值,表示同化单位 CO_2 所消耗的水分。气孔限制值(Ls)按 $L_s = [(C_a - C_i) / C_i] \times 100$ 计算^[7],其中 C_a 和 C_i 分别为空气和细胞间隙中 CO_2 的浓度。

1.5 数据分析

试验数据均采用 SAS (Release 6. 03) [18] 统计软件进行方差分析、Duncan 多重比较、多元回归及相关性分析。

2 结果与分析

2.1 红椎外生菌根的合成

接种 26 周时对试验苗根系菌根合成情况进行了检查, 结果表明 11 个菌株都能在红椎根系上形成菌根, 但不同菌株的感染程度存在差异, 菌根感染率变化范围为 48% ~ 95%, 其中菌株 C9215 (硬皮马勃)、9803 (黑孢块菌)、924 (松口蘑)、C9132 (彩色豆马勃) 等在红椎根系上的感染率较高。各接种处理苗菌根感染率平均大小分别为: 处理 1 (62%)、处理 2 (75%)、处理 3 (66%)、处理 4 (90%)、处理 5 (48%)、处理 6 (79%)、处理 7 (95%)、处理 8 (87%)、处理 9 (52%)、处理 10 (65%)、处理 11 (85%), 对照苗未受感染。限于篇幅, 有关红椎外生菌根形态结构的电镜观察结果将另文报道。

2.2 菌根菌接种对红椎生长的影响

2.2.1 对红椎不同时期高生长量的影响 试验苗各处理间同期高生长量 (H_{8w} 、 H_{16w} 、 H_{20w} 和 H_{24w}) 差异极显著 ($P < 0.01$) (表 2)。与对照苗相比, 接种处理苗能显著促进苗高的生长, 在 $LSR = 0.01$ 水平上有较大差异 (表 2), 4 次测定苗高生长量增幅范围及相应菌株分别为 79.6% (MH727) ~ 9.3% (9606)、72.6% (C9216) ~ 11.6% (9803)、68.6% (C9132) ~ 8.3% (9803)、89.4% (C9132) ~ 2.3% (9803), 其中, 豆马勃属的 3 个菌株 MH727、C9216 和 C9132 对红椎苗高生长量促进作用最大, 而菌株 9606 (松口蘑) 和 9803 (块菌) 对红椎影响较小, 表明了不同菌种对红椎苗高生长的促进效果有显著差异。以接种 24 周时苗高生长情况 (H_{24w}) 为例 (表 3), 接种处理 11、6、1 苗高生长量最大, 与对照苗差异极显著 ($P < 0.01$), 分别比对照增加 75% 以上, 并与其它接种处理差异显著 ($P < 0.01$), 这一结果进一步证实了 3 个豆马勃菌株能显著促进红椎苗高的生长; 另外, 菌株 9480 (*Rhizogogon*)、9810 (*Tricholana*)、E4100 (*Laccaria*) 和 NB146 (*Descolea*) 等也表现出较好的接种效果。

表 2 菌根接种试验苗 4 次高生长量方差分析

变异来源	自由度	苗高 H_{8w}			苗高 H_{16w}			苗高 H_{20w}			苗高 H_{24w}		
		平方和	均方	F 值	平方和	均方	F 值	平方和	均方	F 值	平方和	均方	F 值
处理间	11	225.36	20.49	4.85***	560.78	50.98	4.57***	768.54	69.87	4.19***	1269.60	115.42	8.15***
误差	108	456.23	4.22		1205.01	11.16		1782.40	16.66		892.55	14.17	
总和	119	681.59			1765.79			2550.94			2162.15		

注: 显著性水平: $P < 0.01$ (***)、 $P < 0.05$ (**), $P < 0.1$ (*), NS——差异不显著 (表 4、表 6 与此同)。

2.2.2 对 26 周时红椎苗生长量及生物量的影响 接种后 26 周时对试验苗生长量和生物量进行了测定, 方差分析及 Duncan 多重比较结果分别列于表 4 和表 5。结果表明, 处理间在生长量 (苗高、地径、根长、须根数、叶片数) 及生物量 (地上干质量和地下干质量) 上, 差异极显著 ($P < 0.01$) (表 4)。多重比较结果不仅显示出接种处理与对照间有极显著差异, 而且各接种处理间也有一定的差异, 表明菌株不同, 生长指标不同, 其相应影响程度也有所不同 (表 5)。与对照相比, 接种处理平均地径增加 105% (C9132) ~ 50% (9606), 须根数目增加 245% (MH727) ~

表3 菌根接种试验4次苗高平均值、与对照增加百分值及Duncan多重比较

处理号	苗高 H_{8w}/cm	增加/ %	$LSR_{0.01}$	处理号	苗高 H_{16w}/cm	增加/ %	$LSR_{0.01}$	处理号	苗高 H_{20w}/cm	增加/ %	$LSR_{0.01}$	处理号	苗高 H_{24w}/cm	增加/ %	$LSR_{0.01}$
6	9.7	79.63	a bcd	1	16.4	72.63	a bcd	11	20.4	68.60	a bc	11	25.0	89.39	a bc
5	9.5	75.93	a bcd	11	16.0	68.42	a bcd	6	19.8	63.64	ab c	6	24.3	84.09	a bc
1	9.3	72.22	a bcd	6	15.6	64.21	ab cd	10	18.9	56.20	ab c	1	23.6	78.79	a bc
7	9.2	70.37	ab cd	7	14.7	54.74	abc d	1	18.7	54.55	abc	5	21.7	64.39	ab c
11	8.4	55.56	abc d	5	14.5	52.63	abc d	5	17.4	43.80	abc	9	21.7	64.39	ab c
10	8.4	55.56	abc d	10	13.8	45.26	abcd	2	16.9	39.67	abc	2	21.4	62.12	ab c
8	7.8	44.44	abcd	2	13.2	38.95	abcd	9	16.7	38.02	abc	10	21.2	60.61	ab c
9	7.5	38.89	abcd	9	12.8	34.74	abcd	7	16.4	35.54	abc	7	19.9	50.76	ab c
2	7.4	37.04	abcd	8	11.4	20.00	abcd	8	14.6	20.66	a bc	3	18.3	38.64	abc
4	6.5	20.37	a bcd	3	11.1	16.84	abcd	3	14.5	19.83	a bc	8	15.9	20.45	a bc
3	5.9	9.26	ab cd	4	10.6	11.58	ab cd	4	13.1	8.26	ab c	4	13.5	2.27	ab c
12	5.4	0	abc d	12	9.5	0	abc d	12	12.1	0	ab c	12	13.2	0	ab c

注: 同一列字母相同者, 表明相应接种处理在该测定指标上差异不显著 ($LSR = 0.01$) (表5、表7与此同)。

表4 试验苗26周时生长量及生物量方差分析

变异来源	自由度	苗高			地 径			根 长			叶 片 数		
		平方和	均方	F 值	平方和	均方	F 值	平方和	均方	F 值	平方和	均方	F 值
处理	11	526.42	47.86	77.92***	11.12	1.01	90.97***	922.23	83.84	194.72***	3 375.22	306.84	263***
误差	24	14.74	0.61		0.27	0.01		10.33	0.43		28.10	1.167	
总和	35	541.16			11.39			932.56			3 403.32		

变异来源	自由度	须 根 数			地上干质量			地下干质量		
		平方和	均方	F 值	平方和	均方	F 值	平方和	均方	F 值
处理	11	11 035.67	1 003.24	880.9***	28.37	2.58	726.54***	6.27	0.570	2 177.19***
误差	24	27.33	1.14		0.54	0.02		0.88	0.03	
总和	35	11 063.00			28.81			7.15		

41% (9606), 地上干质量增加 241% (MH727) ~ 11% (C9215), 地下干质量增加 290% (MH727) ~ 10% (C9215)。分析结果证实了接种菌根菌能促进红椎苗高、地径的生长, 同时对苗期根系的发展产生积极的影响; 接种后试验苗须根数目和生物量的显著增加, 为苗木提前出圃和提高造林成活率有重要的意义。

2.2.3 各生长指标间的相关性分析 方差分析及多重比较结果显示不同菌株接种后对红椎试验苗各生长指标的影响有一定差异, 在此基础上, 分析了试验苗生物量与各生长指标及菌根感染率间的相关性。经多元相关分析(CANCORR)得出复相关系数 $R = 0.984\ 366$, 采用似然法及Wilks's Lambda等5种方法对因变量总体与自变量的多元正态总体之间相关系数为零的假设进行了检验, 证明相关性显著 ($P = 0.001\ 3 < 0.05$)。其标准化典型变量为:

表 5 试验苗 26 周时各生长指标平均值及 Duncan 多重比较

处理号	苗高/cm		地径 /mm		根长/cm		叶片数/个		须根数/条			地上干质量/g			地下干质量/g		
	均值	LSR	均值	LSR	均值	LSR	均值	LSR	均值	LSR	增加/%	均值	LSR	增加/%	均值	LSR	增加/%
1	28.0	a	4.1	a	25.5	d	35	c	66	b	175.0	2.98	b	186.5	0.89	e	122.5
2	22.5	bcd	3.2	de	29.2	c	26	e	58	d	141.7	1.77	e	70.2	1.00	d	150.0
3	27.8	a	3.6	bc	18.5	g	29	d	34	g	41.7	2.38	d	128.8	0.70	f	75.0
4	21.4	de	3.6	bc	22	f	27	de	62	c	158.3	1.76	e	69.2	1.31	b	227.5
5	22.3	cd	3	e	36.2	a	23	f	52	e	116.7	1.61	g	54.8	0.59	g	47.5
6	28.4	a	3.9	b	26.5	d	44	a	83	a	245.8	3.55	a	241.3	1.56	a	290.0
7	19.5	e	3.2	de	24	e	18	g	42	f	75.0	1.16	i	11.5	0.44	i	10.0
8	24.0	b	3.4	cd	25	de	22	f	56	d	133.3	1.55	h	49.0	0.60	g	50.0
9	28.2	a	3.9	b	26.5	d	44	a	81	a	237.5	3.50	a	236.5	1.52	a	280.0
10	23.1	bc	3.4	cd	19	g	33	c	35	g	45.8	1.67	f	60.6	0.49	h	22.5
11	28.5	a	4.2	a	32	b	40	b	56	d	133.3	2.54	c	144.2	1.18	c	195.0
12	16.2	f	2	f	20.8	f	12	h	24	h	0.0	1.04	j	0	0.40	j	0

注: 表中数据为相应处理 3 株试验苗测定的平均值, LSR = 0.01。限于篇幅, 本表中各指标均值及多重比较结果均按处理号顺序排列。

$$Y = 0.277 8X_1 - 0.105 8X_2 - 0.038 8X_3 + 0.409 0X_4 + 0.511 8X_5 - 0.077 9X_6$$

$$(R^2 = 0.973 8)$$

式中 Y 为红椎试验苗生物量, X_1 为苗高, X_2 为根长, X_3 为地径, X_4 为叶片数, X_5 为须根数, X_6 为菌根感染率。构成典型变量的原变量系数, 其绝对值大小反映了原变量在典型变量中的权重, 也表明了原变量对典型相关系数的程度。从计算结果可以看出, 须根数(X_5)对生物量的影响最大, 叶片数(X_4)和苗高(X_1)次之, 而地径(X_3)和菌根感染率(X_6)影响较小; 相关系数分别为: $X_1(0.866 3)$ 、 $X_2(0.226 7)$ 、 $X_3(0.831 5)$ 、 $X_4(0.949 7)$ 、 $X_5(0.879 4)$ 、 $X_6(0.290 8)$ 。

以上分析揭示了试验苗根系菌根感染率与生物量间的相关性不大, 这说明菌根感染率不能完全体现其接种效应, 在本试验所使用的 11 种外生菌根菌株中, 菌株 C9215 (*Sclerodema*) 在红椎根系上的感染率最高, 但对试验苗生长的促进作用并非最好, 相反, 菌株 9810 (*Tricholoma*) 和 C9216 (*Isolitus*) 感染率相对较低, 但促进效果较好。这说明不同菌种(菌株)对宿主的亲和力大小有一定的差异, 同时也反映出红椎苗对各菌根菌的依赖性不同。

2.3 菌根菌接种对红椎光合作用的影响

处理间在净光合速率 P_n 、蒸腾速率 E 、气孔导度 G_s 、胞间 CO_2 浓度 C_i 等指标上差异显著(表 6)。多重比较分析结果表明, 菌根菌接种能显著提高红椎苗净光合速率, 与对照苗相比, 增加了 135.83% ~ 21.02% (表 7), 其中, 菌株 C9215 (硬皮马勃) 对苗木 P_n 促进作用最大(处理 7), 其次为菌株 9480 (处理 5) 和 9803 (处理 4)。接种苗蒸腾速率 E 变化较大, 除菌株 E4100 接种苗(处理 2)测定的蒸腾速率略低于对照外, 其它 10 种菌株接种处理苗均有较高的蒸腾速率, 其中, 菌株 C9132、9480、C9216 影响最大, 比对照增加 100% 以上; 菌株 MH727、9810 等影响较少, 与对照间差异不显著。菌根菌接种对试验苗气孔导度 G_s 的影响也有较大的差异(表 7), 菌株 9606 和 NB146 接种苗 G_s 低于对照, 其它接种苗 G_s 均高于对照。除菌株 C9216 和 924 外, 接种菌根菌降低了胞间 CO_2 浓度。从菌根菌对试验苗光合耗水量 E/P_n 的影响来看,

除菌株 C9132 外, 其它各菌株接种后都能有效地减少红椎苗的光合耗水量, 其中, 菌株 9810、NB146、9803、E4100 作用最为明显(图 1-a)。菌根对叶片气孔限制值 L_s 也有较大的影响, 菌株 E4100、9606、9803 接种苗 L_s 较大, 而 C9216 和 924 接种苗相对较小(图 1-b)。净光合速率 P_n 与胞间 CO_2 浓度 C_i 及气孔限制值 L_s 间有一定相关性, 可以用 $P_n = 74.2069 - 1.016C_i - 0.7593L_s$ 来表示($R^2 = 0.67$)。分析表明, 采用菌根菌接种技术, 对红椎苗期光合作用产生一定的影响, 主要体现在能显著提高红椎苗期净光合速率和降低光合耗水量。

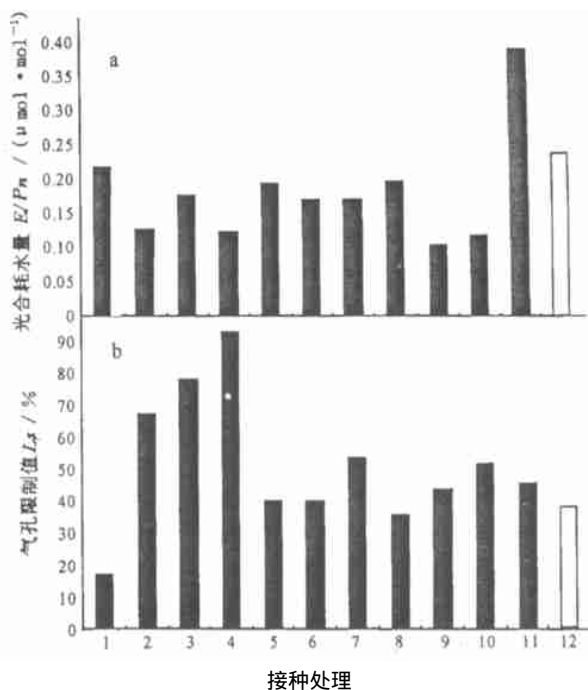


图 1 红椎苗光合耗水量(a)及气孔限制值(b)

表 6 菌根接种试验苗光合指标方差分析

变异来源	自由度	净光合速率 P_n			蒸腾速率 E			气孔导度 G_s			胞间 CO_2 浓度 C_i		
		平方和	均方	F 值	平方和	均方	F 值	平方和	均方	F 值	平方和	均方	F 值
处理间	11	16.13	1.47	2.56**	0.78	0.07	5.63***	7207.86	655.26	5.04***	151840.92	13803.72	2.95***
误差	48	27.51	0.58		0.60	0.02		6235.08	129.90		224806.14	4683.46	
总和	59	43.64			1.38			13442.92			376647.06		

注: 光呼吸指标单位: $P_n/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$, $E/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$, $G_s/(\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$, $C_i/(\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1})$ 。

表 7 各接种处理光合指标 Duncan 多重比较

处理号	净光合速率 P_n	增加/ %	增加/ $LSR_{0.01}$	处理号	蒸腾速率 E	增加/ %	增加/ $LSR_{0.01}$	处理号	气孔导度 G_s	增加/ %	增加/ $LSR_{0.01}$	处理号	胞间 CO_2 浓度 C_i	增加/ %	增加/ $LSR_{0.01}$
7	2.962	135.83	a b	11	0.586	140.16	a bcd	1	48.44	183.61	a bcc	1	351.24	6.11	a b
5	2.700	114.97	ab	5	0.516	111.48	ab bc	5	46.22	170.61	ab bc	8	335.64	1.40	a b
4	2.662	111.94	ab	7	0.496	103.28	abc b	11	35.32	106.79	abc d	12	331.02	0	a b
9	2.460	95.86	ab	8	0.390	59.84	abcd	7	33.16	94.15	abc a	11	329.68	- 0.40	a b
10	2.114	68.31	ab	1	0.364	49.18	d bcd	4	31.06	81.85	abc d	6	317.58	- 4.06	a b
8	2.008	59.87	ab	4	0.320	31.15	b bcd	8	27.50	61.01	abc	5	308.18	- 6.90	ab
2	1.880	49.68	ab	10	0.294	20.49	bc cd	6	25.54	49.53	b bc	7	295.02	- 10.88	ab
1	1.692	34.71	ab	3	0.292	19.67	bc cd	9	19.66	15.11	bc c	4	276.99	- 16.32	ab
3	1.682	33.92	ab	6	0.266	9.02	bcd d	2	19.50	14.17	bc c	3	260.62	- 21.27	ab
6	1.580	25.80	ab	9	0.250	2.46	bcd d	12	17.08	0	bc c	2	249.96	- 24.49	ab
11	1.520	21.02	ab	12	0.244	0	bcd d	3	16.22	- 5.04	bc c	9	217.08	- 34.42	ab
12	1.256	0	b b	2	0.232	- 4.92	bcd d	10	13.98	- 18.15	bc c	10	179.32	- 45.83	b b

3 结论与讨论

(1) 对试验采用的 11 个外生菌根菌株对红椎苗接种效应进行了统计分析, 结果表明, 菌根菌接种技术能显著促进红椎苗期的生长, 26 周时的接种苗, 在生物量、苗高、地径、须根数等方面都优于未接种对照苗的相应生长指标, 差异显著 ($P < 0.01$)。相关性分析表明, 叶片数、须根数、苗高、地径等生长指标与植株生物量间的相关性较大, 而菌根感染率的相关性较小 ($R^2 = 0.29$), 反映出菌根菌株在红椎根系上的亲和力有一定的差异, 也表明红椎对各接种菌株的菌根依赖程度不同。研究证实了这些外生菌根菌株与红椎根系的共生, 不仅能促进植株地上部分的生长, 还能促进根系的发展, 这对红椎育苗和提高造林成活率有一定的积极作用。

(2) 试验苗生长量和生物量统计分析结果还表明, 不同菌株对红椎苗期的接种效应存在一定的差异。在接种后 26 周内, 豆马勃属 (*Pisolithus*) 的 3 个菌株对试验苗高生长的促进作用最为显著; 菌株 MH727 (豆马勃)、9810 (松口蘑)、9803 (黑孢块菌) 等对红椎生物量影响最大。接种菌株 MH727 (豆马勃)、924 (松口蘑)、9803 (黑孢块菌) 等的试验苗根系最为发达。试验初步筛选出豆马勃属 3 个菌株、黑孢块菌 9803 菌株、松口蘑 9810 及 924 菌株等, 为红椎优良菌株, 可用于红椎育苗。

(3) 菌根菌接种对红椎苗期净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度、光合耗水量等有关生理指标有一定影响, 接种后能显著提高苗期净光合速率和蒸腾速率, 其中, 菌株 C9215 (硬皮马勃)、9480 (须腹菌) 等影响较大。各菌株对试验苗气孔导度、胞间 CO_2 浓度及光合耗水量等的影响差异较大。虽然众多研究表明, 菌根对宿主根系营养生理产生一定的影响^[9,10], 但有关菌根对宿主光呼吸及光合作用间的关系的研究较少^[11]。本试验初步结果表明, 光合作用有关测定指标的变化, 在一定程度上虽然也反映了菌根菌的接种效应, 但菌根菌接种对光合影响是否有直接的作用关系, 以及作用机理等, 尚有待深入研究。

(4) 黑孢块菌、松口蘑 (松茸) 等都是名贵共生型食用菌, 前者原产于西欧的法国、意大利等地, 通常与榛 (*Corylus*)、栎 (*Quercus*)、栗 (*Castanea*)、松 (*Pinus*) 等属树木共生^[12,13]; 后者主要分布于东亚的日本、韩国和我国东北、西南等地, 自然条件下与松树共生^[14]。两者分别与红椎根系形成外生菌根, 为名贵共生型食用菌的半人工模拟合成提供了可能。有关研究仍在进行中。

参考文献

- [1] 郑万钧. 中国树木志 (第二卷) [M]. 北京: 中国林业出版社, 1985. 2221~ 2222.
- [2] 朱积余. 红椎速生丰产造林技术研究 [J]. 广西林业科技, 1991, (4): 175~ 180.
- [3] 卢立华, 汪炳根, 何日明. 立地与栽培模式对红椎生长的影响 [J]. 林业科学研究, 1999, 12(5): 519~ 523.
- [4] 郑海水, 翁启杰, 杨增奖, 等. 乡土阔叶树种生长比较 [J]. 广东林业科技, 1999, 15(4): 22~ 26.
- [5] Li H Y, Fan J Y, Wang G W, et al. Taxonomy, morphology and ecology of *Russula lepida* in the Pubei region of Guangxi Province, China [A]. In: Brundrett M, Dell B, Malajczuk N, et al. ed. Mycorrhizas for Plantation Forestry in Asia [M]. Canberra: ACIAR, 1994. 31~ 33.
- [6] 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. 108~ 110.
- [7] Berry Downton. Phytosynthesis (Vol II) [M]. New York: Academic Press, 1982. 263~ 343.
- [8] SAS. SAS/STAT user's guide for personal computers Release 6.03 [M]. Cary, NC, USA: SAS Institute, 1998.
- [9] Ling-Lee M, Ashford A E, Chilvers A G. A histochemical study of polysaccharide distribution in eucalypt mycorrhizas

- [J]. *New Phytol*, 1977, 78: 329~ 335.
- [10] 陈应龙, 弓明钦, 王凤珍, 等. 尾叶桉混合菌根营养生理研究[J]. *林业科学研究*, 1998, 11(3): 237~ 242.
- [11] 赵忠, 刘西平, 王真辉. 外生菌根与VA菌根混合接种对毛白杨光合及蒸腾特性的影响[A]. 见: 广州ACIAR菌根研讨会论文集[C]. 北京: 中国林业出版社, 1999.
- [12] Hall IR, Brown G T, Byars J. The black truffle: its history, uses and cultivation[M]. Christchurch: New Zealand Institute for Crop and Food Research Limited, 1994.
- [13] Trappe JM. The orders, families, and genera of hypogeous Ascomycotina (truffles and their relatives) [J]. *Mycotaxon*, 1979, 9(1): 297~ 340.
- [14] Wang Y, Hall IR, Evans L A. Ectomycorrhizal fungi with edible fruiting bodies I *Tricholoma matsutake* and related fungi [J]. *Economic Botany*, 1997, 51(3): 311~ 327.

Effects of Inoculation with 11 Ectomycorrhizal Fungal Isolates on Growth and Photosynthesis of *Castanopsis hystrix* Saplings

CHEN Ying-long, GONG Ming-qin, CHEN Yu, WANG Feng-zhen
(Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou 510520, Guangdong, China)

Abstract: As an important indigenous broad-leaved tree species, *Castanopsis hystrix* A. DC. has been commonly adopted for reforestation program in southern China. Many efforts have been tried to enhance the growth of saplings in nursery before transplanting. Mycorrhizal technology could be the most effective way to meet this requirement. This paper reports the inoculant efficacy of 11 ectomycorrhizal fungal isolates belonging to 7 genera (*Tuber*, *Tricholoma*, *Rhizopogon*, *Laccaria*, *Pisolithus*, *Scleroderma* and *Descolea*) on *C. hystrix* saplings in a glasshouse. All fungal isolates were capable of colonizing root systems of saplings to form ectomycorrhizal associations 26 weeks after inoculation though the infective rates varied within 48% ~ 95%. Effects of each fungal treatment on the growth and photosynthesis were assessed 26 weeks after inoculation. Statistic analysis revealed the great response of the growth on fungal inoculation. There were substantial differences on the height, basal diameter, dry weight and other growth index of inoculated saplings compared to those of uninoculated ($P < 0.01$). Inoculation also affected photosynthesis, transpiration and water use efficiency of saplings. Isolates, *Pisolithus* C9132, MH727, C9216, *Rhizopogon* 9480 and *Tricholoma* 9810, were the most efficient colonizers for the growth improvement of *C. hystrix* saplings, and the potential for inoculation programs. This is the first report on mycorrhizal formation of the European Perigord black truffle (*Tuber melanosporum* Vittad.) on Chinese native tree species through inoculation techniques.

Key words: *Castanopsis hystrix*; ectomycorrhizal fungi; inoculant efficacy; photosynthesis