

文章编号: 1001-1498(2000) 04-0377-08

# 赤桉、细叶桉和巨桉幼林施磷量的确定\*

仲崇禄<sup>1</sup>, 弓明钦<sup>1</sup>, 陈羽<sup>1</sup>, 王凤珍<sup>1</sup>, 关则寇<sup>2</sup>, Bernard Dell<sup>3</sup>

(1. 中国林业科学研究院 热带林业研究所, 广东 广州 510520; 2. 广东省阳西县林业科学研究所, 广东 阳西 529800;

3. School of Biological Science and Biotechnology, Murdoch University, Perth, WA 6150, Australia)

**摘要:** 在广东省阳西县, 对赤桉、巨桉和细叶桉进行 10 个 P 处理水平的施肥试验, 结果表明: 造林后 1~64 个月期间 8 次测定的树高和 9~64 个月期间 6 次测定的胸径在 10 个 P 处理水平间和 3 个树种间均有显著或极显著差异, P 肥对促进 3 种桉树树高和胸径生长的肥效明显, 3 个参试树种对 P 肥的需求也有明显差异, 表现为 6~24 个月期间观测的生长指标存在树种与 P 肥的交互效应。各树种肥效明显的高峰区域的开始和持续时间也不同, 为筛选施 P 量创造了条件, 讨论了参试树种造林时必须的施 P 量。

**关键词:** 桉树; P 肥; 生长; 互作效应

**中图分类号:** S725.5      **文献标识码:** A

人工林经营中, 为最大限度地促进树木生长主要应考虑下列因素: 土壤肥力、肥料施用、营养元素的相互影响程度、营养元素的损失、营养元素施用在植物基因型间的差异等<sup>[1]</sup>。桉树 P 肥营养及其菌根菌研究国内外均有报道<sup>[2~12]</sup>, 有试验显示一定范围的低 P 利于提高桉树外生菌根菌侵染率, 而高施 P 量不利于桉树菌根菌侵染<sup>[7,9~11]</sup>。本试验采用 10 个 P 肥水平, 目的是探讨赤红壤上 3 种桉树对施用 P 的反应及树种间的差异, 从经济学角度出发, 向较低 P 水平方向选择必须施 P 量, 为各参试树种推荐施 P 量, 供菌根化苗造林施 P 时参考。

## 1 试验材料和方法

### 1.1 试验地概况

试验设在广东省阳西县蒲牌乡, 地理位置为 21°29' N, 111°26' E, 海拔 20 m。年平均气温 22.8 °C, 年降水量 2 293 mm; 台风期每年 5~10 月。试验地坡度 5°, 土壤为赤红壤, 有效 P 2.0 mg·kg<sup>-1</sup>, pH 值(水提) 4.5。

### 1.2 试验材料

试验树种为赤桉(*Eucalyptus camaldulensis* Dehu), 细叶桉(*E. tereticornis* Smith) 和巨桉(*E. grandis* W. Hill ex Maiden)。

### 1.3 试验设计及方法

试验设计: 裂区设计, 主区为 3 个树种, 副区为 10 个施 P 肥处理, 4 次重复, 每小区处理 6 株。1989 年 4 月 16 日造林。株行距为 1 m × 2 m, 每处理小区四周各设 1 行保护行; 采用全垦

收稿日期: 1999-06-01

基金项目: 中澳合作 ACIAR8736 项目“借助共生微生物接种提高华南地区桉树和木麻黄人工林生产力”研究内容

作者简介: 仲崇禄(1961-), 男, 山东郓城人, 副研究员。

\* Nicholas Malajczuk, Neale Bougher 和 Tim Grove 参加部分工作。

整地方式,穴为60 cm × 40 cm × 40 cm;造林前穴施基肥,尿素(46%N)43.5 g · 株<sup>-1</sup>(即100 kg · hm<sup>-2</sup>),P肥处理用过磷酸钙(12%P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>),10个水平分别为施P 0、1.0、2.0、3.0、5.0、7.0、10.0、20.0、30.0和40.0 g · 株<sup>-1</sup>,即分别0、5、10、15、25、35、50、100、150和200 kg · hm<sup>-2</sup>。试验中最大施P量水平的确定是以略高于当地生产中常规施P量为标准。

苗木准备:1988年11月在热林所苗圃播种育苗;1988年12月移苗,育苗基质为当地土壤。

树木测定:造林后1、3、6、9、12、21、24、64个月各测定1次树高,分别用H1、H3、H6、H9、H12、H21、H24和H64表示;9、12、21、24、40、64个月各测定树木胸径,用D9、D12、D21、D24、D40和D64表示。

#### 1.4 数据处理

不同时间观测获得的所有单株树木数据,采用SAS数据处理软件中GLM方法进行方差分析,方差分析模型 $Y = \mu + B_i + G_j + P_k + GP_{jk} + BGP_{ijk} + E_{ijkl}$ ,其中Y为观测值, $\mu$ 为总平均值, $B_i$ 为重复效应, $G_j$ 为树种(遗传)因素效应, $P_k$ 为P肥效应, $GP_{jk}$ 为树种与P肥互作效应, $BGP_{ijk}$ 为区组、树种及P肥三者间互作效应, $E_{ijkl}$ 为误差。采用Duncan法进行多重比较<sup>[13,14]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 树种间、不同施P量间各时期树高和胸径生长量差异

从表1看出,各树种树高和胸径的不同时间的观测值,在树种间和P处理水平间均有极显著差异,说明赤桉、巨桉和细叶桉对P肥处理存在差异。从树种(G) × 磷(P)交互效应看,造林后1、3、64个月的树高及40、64个月的胸径没有G × P交互效应,而其它时间观测的树高、胸径均有G × P交互效应。表现特点是造林初期(1、3个月)和3 a后,试验期间观测的指标G × P没有交互效应,而造林后6、9、12、24个月的树高和胸径,有G × P显著或极显著交互效应。

从表2的树种间生长指标的多重比较结果看,造林后1、3、6个月的树高,赤桉和细叶桉与对应的巨桉间有极显著差异;9、12个月,赤桉、细叶桉与巨桉三者间均有极显著差异;21和24个月,赤桉和细叶桉与对应的巨桉间又有极显著差异;64个月,赤桉与细叶桉、巨桉间有极显著差异;胸径生长,9、12个月,赤桉和细叶桉与对应的巨桉间有极显著差异,且巨桉的数值较小;21个月,赤桉和巨桉与细叶桉间有极显著差异;24个月,只有赤桉与细叶桉间有显著差异;40个月,细叶桉和巨桉与赤桉间有极显著差异;64个月,赤桉和细叶桉与对应的巨桉间有极显著差异,且巨桉的数值最大。从表3的P肥水平多重比较看,所有树种施磷肥处理后3~24个月期间测定的树高都与对应的不施肥处理有极显著差异,但到64个月时,只有赤桉的100、200 kg · hm<sup>-2</sup>P、巨桉的100、150、200 kg · hm<sup>-2</sup>P及细叶桉的5~200 kg · hm<sup>-2</sup>P处理的树高才与相应不施肥处理的树高有极显著差异。3个参试树种胸径在10个P水平间的多重比较变化复杂(表4):赤桉的胸径,9、12个月时所有施P处理的与不施P的有极显著差异,21、24、64个月时,除5 kg · hm<sup>-2</sup>P处理外,均与不施P的有极显著差异,40个月时只有100 kg · hm<sup>-2</sup>P处理和200 kg · hm<sup>-2</sup>P处理的与不施P的有极显著差异;巨桉的胸径,9个月时50~200 kg · hm<sup>-2</sup>P处理的与不施P处理的有极显著差异,12、24个月时,施P处理的与不施P处理的均有极显著差异,40个月时15~200 kg · hm<sup>-2</sup>P处理的与不施P的有极显著差异,64个月时只有100~200 kg · hm<sup>-2</sup>P处理的与不施P处理的有极显著差异;细叶桉所有施P处

理的胸径与不施 P 处理的有极显著差异。

表 1 3 个树种 10 个 P 肥水平各时期树高、胸径方差分析结果

变源	DF	指标	F 值及显著水平	指标	F 值及显著水平	指标	F 值及显著水平
B	3	H1	0.92 <sup>ns</sup>	H21	2.60 <sup>*</sup>	D21	1.43 <sup>ns</sup>
G	2		55.73 <sup>**</sup>		31.34 <sup>**</sup>		6.81 <sup>**</sup>
P	9		6.32 <sup>**</sup>		79.97 <sup>**</sup>		54.15 <sup>**</sup>
G × P	18		1.12 <sup>ns</sup>		3.36 <sup>**</sup>		3.03 <sup>**</sup>
B × G × P	87		1.25 <sup>ns</sup>		1.87 <sup>**</sup>		1.52 <sup>**</sup>
B	3	H3	5.33 <sup>**</sup>	H24	3.40 <sup>**</sup>	D24	1.33 <sup>ns</sup>
G	2		207.71 <sup>**</sup>		29.61 <sup>**</sup>		3.56 <sup>*</sup>
P	9		40.33 <sup>**</sup>		85.23 <sup>**</sup>		48.95 <sup>**</sup>
G × P	18		1.44 <sup>ns</sup>		2.97 <sup>**</sup>		2.61 <sup>**</sup>
B × G × P	87		1.80 <sup>ns</sup>		1.80 <sup>**</sup>		1.32 <sup>**</sup>
B	3	H6	14.75 <sup>**</sup>	H64	1.99 <sup>ns</sup>	D40	3.01 <sup>**</sup>
G	2		142.21 <sup>**</sup>		12.67 <sup>**</sup>		13.94 <sup>**</sup>
P	9		76.49 <sup>**</sup>		13.05 <sup>**</sup>		20.51 <sup>**</sup>
G × P	18		2.39 <sup>**</sup>		0.96 <sup>ns</sup>		1.39 <sup>ns</sup>
B × G × P	87		1.94 <sup>**</sup>		0.98 <sup>ns</sup>		1.16 <sup>ns</sup>
B	3	H9	12.85 <sup>**</sup>	D9	6.52 <sup>**</sup>	D64	5.52 <sup>**</sup>
G	2		150.34 <sup>**</sup>		112.92 <sup>**</sup>		49.10 <sup>**</sup>
P	9		65.98 <sup>**</sup>		61.53 <sup>**</sup>		12.61 <sup>**</sup>
G × P	18		1.94 <sup>*</sup>		4.34 <sup>**</sup>		0.99 <sup>ns</sup>
B × G × P	87		2.08 <sup>**</sup>		2.02 <sup>**</sup>		1.07 <sup>ns</sup>
B	3	H12	10.23 <sup>**</sup>	D12	2.72 <sup>**</sup>		
G	2		109.20 <sup>**</sup>		50.36 <sup>**</sup>		
P	9		65.25 <sup>**</sup>		75.03 <sup>**</sup>		
G × P	18		2.21 <sup>**</sup>		3.38 <sup>**</sup>		
B × G × P	87		2.14 <sup>**</sup>		1.42 <sup>*</sup>		

注: 检验显著水平: \*\* ——极显著差异( $P = 0.01$ ); \* ——显著差异( $P = 0.05$ ); ns ——无显著差异。

表 2 树种间不同时期的树高和胸径平均值及多重比较

指标	H1	H3	H6	H9	H12	H21	H24	H64	D9	D12	D21	D24	D40	D64
赤桉	0.40 <sub>a</sub>	1.25 <sub>a</sub>	2.59 <sub>a</sub>	3.07 <sub>a</sub>	3.36 <sub>a</sub>	5.86 <sub>a</sub>	6.43 <sub>a</sub>	9.36 <sub>b</sub>	2.11 <sub>a</sub>	2.70 <sub>a</sub>	4.01 <sub>b</sub>	4.43 <sub>b</sub>	5.25 <sub>b</sub>	6.27 <sub>b</sub>
巨桉	0.30 <sub>b</sub>	0.83 <sub>b</sub>	1.91 <sub>b</sub>	2.14 <sub>c</sub>	2.47 <sub>c</sub>	4.99 <sub>b</sub>	5.53 <sub>b</sub>	10.71 <sub>a</sub>	1.08 <sub>b</sub>	2.07 <sub>b</sub>	4.04 <sub>b</sub>	4.50 <sub>ab</sub>	6.38 <sub>a</sub>	9.08 <sub>a</sub>
细叶桉	0.41 <sub>a</sub>	1.22 <sub>a</sub>	2.55 <sub>a</sub>	2.78 <sub>b</sub>	2.94 <sub>b</sub>	5.61 <sub>a</sub>	6.15 <sub>a</sub>	10.17 <sub>a</sub>	2.16 <sub>a</sub>	2.86 <sub>a</sub>	4.43 <sub>a</sub>	4.78 <sub>a</sub>	5.90 <sub>a</sub>	6.83 <sub>b</sub>

注: 每列相同字母表示无显著差异, 检验水平均为 0.01。

表 3 P 肥处理水平间树高的多重比较

指标	H1	H3	H6	H9	H12	H21	H24	H64
P								
					赤 桉			
0	0.36 <sub>ab</sub>	0.87 <sub>f</sub>	1.58 <sub>f</sub>	1.85 <sub>d</sub>	2.16 <sub>f</sub>	3.91 <sub>e</sub>	4.14 <sub>e</sub>	7.90 <sub>e</sub>
5	0.37 <sub>ab</sub>	1.02 <sub>ef</sub>	2.13 <sub>e</sub>	2.56 <sub>c</sub>	2.82 <sub>e</sub>	4.95 <sub>d</sub>	5.43 <sub>d</sub>	8.51 <sub>bc</sub>
10	0.29 <sub>b</sub>	1.16 <sub>de</sub>	2.48 <sub>d</sub>	2.98 <sub>bc</sub>	3.29 <sub>de</sub>	5.42 <sub>cd</sub>	5.91 <sub>cd</sub>	9.13 <sub>abc</sub>
15	0.35 <sub>ab</sub>	1.22 <sub>cd</sub>	2.64 <sub>bcd</sub>	3.15 <sub>ab</sub>	3.43 <sub>cd</sub>	5.55 <sub>cd</sub>	6.25 <sub>bcd</sub>	8.94 <sub>abc</sub>
25	0.41 <sub>ab</sub>	1.31 <sub>abcd</sub>	2.69 <sub>bcd</sub>	3.16 <sub>ab</sub>	3.46 <sub>cd</sub>	6.05 <sub>cd</sub>	6.54 <sub>abcd</sub>	9.59 <sub>abc</sub>

(续表3)

指标	H1	H3	H6	H9	H12	H21	H24	H64
35	0.43 a	1.25 bcd	2.58 cd	2.97 bc	3.22 d	5.60 bcd	6.24 bcd	8.84 abc
50	0.45 a	1.37 abc	2.91 abc	3.37 ab	3.56 bc	6.65 ab	7.18 ab	9.47 abc
100	0.45 a	1.43 ab	2.79 abcd	3.57 a	3.93 a	6.66 ab	7.41 a	10.69 ab
150	0.43 a	1.34 abcd	2.98 ab	3.43 a	3.67 ab	6.46 abc	7.02 abc	9.49 abc
200	0.45 a	1.47 a	3.04 a	3.43 a	3.75 a	6.73 a	7.41 a	11.14 a
P	巨 桉							
0	0.27 ab	0.51 d	0.90 d	1.02 d	1.17 e	2.10 e	2.26 e	7.96 b
5	0.32 ab	0.73 cd	1.57 c	1.73 c	2.02 d	3.89 d	4.41 d	10.88 ab
10	0.25 b	0.72 cd	1.50 c	1.70 c	2.06 d	4.20 cd	4.95 cd	10.4 ab
15	0.30 ab	0.84 bc	1.89 bc	2.11 bc	2.49 cd	5.09 c	5.77 bc	11.14 ab
25	0.31 ab	0.77 c	1.75 c	1.94 c	2.27 d	4.60 cd	5.25 cd	10.72 ab
35	0.28 ab	0.73 cd	1.80 c	1.96 c	2.29 d	4.55 cd	4.84 cd	11.26 ab
50	0.28 ab	0.87 bc	2.28 ab	2.56 ab	2.95 d	6.24 b	6.87 ab	10.85 ab
100	0.31 ab	1.01 ab	2.47 a	2.84 a	3.17 bc	6.34 ab	7.18 a	11.31 a
150	0.33 ab	1.12 a	2.73 a	3.06 a	3.45 ab	7.05 ab	7.50 a	12.22 a
200	0.34 a	1.20 a	2.73 a	3.08 a	3.69 a	7.33 a	7.99 a	12.11 a
P	细叶桉							
0	0.38 bc	0.85 d	1.43 e	1.58 e	1.66 g	2.85 f	3.33 e	6.95 d
5	0.41 ab	1.10 c	2.22 d	2.38 d	2.46 f	4.42 e	4.76 d	9.08 c
10	0.34 c	1.14 c	2.46 cd	2.60 cd	2.65 ef	4.77 de	5.10 d	9.67 bc
15	0.42 abc	1.27 b	2.57 bcd	2.76 bcd	2.89 def	5.51 cd	6.13 c	10.38 abc
25	0.36 bc	1.21 bc	2.61 abc	2.91 abc	3.13 bcd	6.04 bc	6.62 bc	10.64 abc
35	0.41 abc	1.22 b	2.69 abc	2.85 bc	3.01 cde	5.93 bc	6.40 c	10.43 abc
50	0.39 bc	1.27 ab	2.80 abc	3.11 ab	3.14 bcd	6.03 bc	6.60 bc	11.07 ab
100	0.42 abc	1.32 a	2.88 ab	3.23 ab	3.55 ab	6.94 a	7.69 a	10.91 abc
150	0.46 ab	1.41 a	2.85 ab	3.12 ab	3.33 abc	6.59 ab	7.24 ab	10.92 abc
200	0.47 a	1.44 a	2.98 a	3.35 a	3.72 a	7.24 a	8.07 a	11.8 a

注: 本表检验水平均为0.01; 每列相同字母表示无显著差异; 下同。

表4 P肥处理水平间胸径的多重比较

指标	D9	D12	D21	D24	D40	D64
P	赤 桉					
0	0.52 e	1.20 e	2.26 c	2.55 c	3.74 b	4.57 c
5	1.54 d	2.08 d	3.11 bc	3.48 bc	4.54 ab	5.49 bc
10	1.90 cd	2.41 cd	3.71 ab	4.09 ab	5.11 ab	5.98 abc
15	2.10 abc	2.49 bcd	3.82 ab	4.26 ab	5.29 ab	6.06 abc
25	2.32 abc	2.98 abc	4.34 a	4.85 a	5.48 ab	6.52 abc
35	2.05 bcd	2.65 abc	3.84 ab	4.28 ab	4.97 ab	6.15 abc
50	2.58 ab	3.10 ab	4.66 a	5.08 a	5.62 ab	6.29 abc
100	2.60 ab	3.28 a	4.77 a	5.10 a	6.00 a	7.64 ab
150	2.45 abc	3.10 ab	4.33 a	4.68 ab	5.08 ab	5.90 abc
200	2.68 a	3.28 a	4.79 a	5.47 a	6.28 a	8.12 a
P	巨 桉					
0	0 d	0.12 e	1.01 e	1.37 e	3.36 d	6.22 b

(续表 4)

指标	D9	D12	D21	D24	D40	D64
5	0.13 d	1.46 e	3.01 d	3.32 d	5.92 cd	8.41 ab
10	0.27 d	1.59 e	3.18 d	3.73 cd	5.51 cd	8.50 ab
15	1.25 c	2.26 de	4.33 bcd	4.82 bcd	6.74 b	10.43 ab
25	0.66 cd	1.78 de	3.78 cd	4.23 cd	6.67 b	9.08 ab
35	0.64 cd	1.78 de	3.74 bc	4.12 cd	7.00 b	9.85 ab
50	1.46 bc	2.53 bcd	5.16 ab	5.27 bc	6.35 b	7.59 ab
100	2.12 ab	3.13 bc	5.56 ab	6.11 ab	7.88 ab	10.94 a
150	2.44 a	3.26 b	5.61 ab	6.39 ab	7.30 ab	11.17 a
200	2.77 a	4.18 a	6.99 a	7.65 a	10.04 a	11.24 a
P				细叶桉		
0	0.19 f	0.76 f	1.80 e	2.03 e	2.88 f	4.03 c
5	1.64 e	2.05 e	3.01 d	3.43 d	4.74 e	6.15 b
10	1.73 de	2.35 ed	3.66 d	3.91 d	5.03 de	6.27 b
15	2.04 de	2.82 cd	4.53 c	4.94 c	6.27 cd	7.38 ab
25	2.36 bcd	2.96 bcd	4.73 bc	5.15 bc	6.35 bc	6.79 ab
35	2.40 bc	3.12 bc	4.75 bc	5.06 bc	6.24 cd	7.24 ab
50	2.51 bc	3.19 bc	4.89 bc	5.14 bc	6.11 cd	7.03 ab
100	3.00 ab	4.06 a	5.85 a	6.13 a	7.10 ab	8.24 a
150	2.64 abc	3.53 ab	5.37 ab	5.80 ab	6.69 bc	7.37 ab
200	3.20 a	3.88 a	5.91 a	6.54 a	8.03 a	8.24 a

## 2.2 肥效分析及施 P 量确定

从表 5 看, 各树种不同时间观测的树高、胸径与相应对照的比值出现的高峰区域不同(表 5 中\* 标注部分), 赤桉树高的比值高峰区域出现在造林后 6~12 个月, 胸径的比值高峰区域出现在 9 个月; 巨桉树高的比值高峰区域出现在造林后 3~24 个月, 巨桉胸径的比值高峰区域出现在 9~24 个月(注: 由于 9 个月时胸径对照值太小, 处理值与对照的比值太大, 表中未列出); 细叶桉树高的比值高峰区域出现在造林后 6~24 个月, 细叶桉胸径的比值高峰区域出现在 9~24 个月。高峰区域是肥效明显的区域, 各树种高峰区域的开始和结束在时间上有差异, 这为判定低施 P 量创造了有利条件。按树种, 在高峰区内的左右两端, 选择生长指标与对应最大施 P 量处理的指标无显著差异且施 P 量最小的 P 肥水平作为该树种施 P 量范围。试验中, 用上述方法得到的施 P 量, 赤桉、巨桉为  $50 \sim 100 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ , 细叶桉为  $25 \sim 100 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (表 5 中用  $\Delta$  表示两端)。

表 5 施 P 肥的生长量与对照值比较的结果

指标	H1	H3	H6	H9	H12	H21	H24	H64	D9	D12	D21	D24	D40	D64
P									赤桉					
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.0	1.2	1.4	1.4	1.3	1.3	1.3	1.1	3.0	1.7	1.4	1.4	1.2	1.2
10	0.8	1.3	1.6	1.6	1.5	1.4	1.4	1.2	3.7*	2.0	1.6	1.6	1.4	1.3
15	1.0	1.4	1.7	1.7	1.6	1.4	1.5	1.1	4.0*	2.1	1.7	1.7	1.4	1.3
25	1.1	1.5	1.7	1.7	1.6	1.6	1.6	1.2	4.5*	2.5	1.9	1.9	1.5	1.4
35	1.2	1.4	1.6	1.6	1.5	1.4	1.5	1.1	3.9*	2.2	1.7	1.7	1.3	1.4
50	1.3	1.6	1.8 $\Delta$ *	1.8*	1.7	1.7	1.7	1.2	5.0*	2.6	2.1	2.0	1.5	1.4

(续表5)

指标	H1	H3	H6	H9	H12	H21	H24	H64	D9	D12	D21	D24	D40	D64
100	1.3	1.6	1.8*	1.9*	1.8Δ*	1.7	1.7	1.4	5.0Δ*	2.7	2.1	2.0	1.6	1.7
150	1.2	1.5	1.9*	1.9*	1.7	1.7	1.7	1.2	4.7*	2.6	1.9	1.8	1.4	1.3
200	1.3	1.7	1.9*	1.9*	1.7	1.7	1.7	1.4	5.2*	2.7	2.1	2.2	1.7	1.8
P	巨 桉													
0	1	1	1	1	1	1	1	1	-	1	1	1	1	1
5	1.2	1.4	1.7	1.7	1.7	1.9*	2.0*	1.4	-	12.2*	3.0	2.4	1.8	1.4
10	0.9	1.4	1.7	1.7	1.8*	2.0*	2.2*	1.3	-	13.3*	3.2*	2.7	1.6	1.4
15	1.1	1.7	2.1*	2.1*	2.1*	2.4*	2.6*	1.4	-	18.8*	4.3*	3.5*	2.0	1.7
25	1.2	1.5	1.9*	1.9*	1.9*	2.2*	2.3*	1.4	-	14.8*	3.7*	3.1*	2.0	1.5
35	1.0	1.4	2.0*	1.9*	2.0*	2.2*	2.1*	1.4	-	14.8*	3.7*	3.0*	2.1	1.6
50	1.0	1.7	2.5*	2.5*	2.5*	3.0*	3.0Δ*	1.4	-	21.1Δ*	5.1*	3.9*	1.9	1.2
100	1.2	2.0Δ*	2.7*	2.8*	2.7*	3.0*	3.2*	1.4	-	26.1*	5.5*	4.5Δ*	2.4	1.8
150	1.2	2.2*	3.0*	3.0*	3.0*	3.4*	3.3*	1.5	-	27.2*	5.6*	4.7*	2.2	1.8
200	1.3	2.4*	3.0*	3.0*	3.2*	3.5*	3.5*	1.5	-	34.8*	6.9*	5.6*	3.0	1.8
P	细叶桉													
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1.1	1.3	1.6	1.5	1.5	1.6	1.4	1.3	8.6*	2.7	1.7	1.7	1.7	1.5
10	0.9	1.3	1.7	1.7	1.6	1.7	1.5	1.4	9.1*	3.1*	2.0	1.9	1.8	1.6
15	1.1	1.5	1.8*	1.8*	1.7	1.9*	1.8*	1.5	10.7*	3.7*	2.5	2.4	2.2	1.8
25	1.0	1.4	1.8Δ*	1.8*	1.9*	2.1*	2.0*	1.5	12.4*	3.9*	2.6	2.5	2.2	1.7
35	1.1	1.4	1.9*	1.8*	1.8*	2.1*	1.9*	1.5	12.6*	4.1*	2.6	2.5	2.2	1.8
50	1.0	1.5	2.0*	2.0*	1.9*	2.1*	2.0*	1.6	13.2*	4.2*	2.7	2.5	2.1	1.7
100	1.1	1.6	2.0*	2.0*	2.1*	2.4*	2.3Δ*	1.6	15.8Δ*	5.3*	3.3*	3.0Δ*	2.5	2.0
150	1.2	1.7	2.0*	2.0*	2.0*	2.3*	2.2*	1.6	13.9*	4.6*	3.0*	2.7	2.3	1.8
200	1.2	1.7	2.1*	2.1*	2.2*	2.5*	2.4*	1.7	16.8*	5.1*	3.3*	3.2*	2.8	2.0

注:表中数值为每树种不同时间观测值与对应对照观测值的比值;\*表示肥效高峰区域的数值,确定临界为树高比值1.8,胸径比值3.0;Δ表示肥效高峰区域中,两端的生长指标与相应最高施P量的指标间无显著差异者。

### 3 小结与讨论

(1) 方差分析表明,参试赤桉、巨桉和细叶桉,造林后1~64个月的树高和9~64个月的胸径在10个P肥处理水平间和3个树种间均有显著或极显著差异;6~24个月期间观测的生长指标在树种与P间存在交互效应。

(2) P肥对促进3种桉树树高和胸径生长的肥效明显,各树种肥效明显的高峰区开始和持续时间也不同。

(3) 各参试树种菌根化苗造林的施P量,赤桉、巨桉为50~100 kg·hm<sup>-2</sup>,细叶桉为25~100 kg·hm<sup>-2</sup>。

(4) Soares 等<sup>[8]</sup>研究土壤有效P对巨桉苗共生外生菌根菌彩色豆马勃(*Pisolithus tinctorius* (Pers.) Coker et Couch)发育影响时发现,当土壤有效P达到13.4 mg·kg<sup>-1</sup>时会抑制新根系上外生菌根菌的发育,建议菌根化育苗的基质中有效P应低于8.6 mg·kg<sup>-1</sup>;Vieira R F等<sup>[9]</sup>以彩色豆马勃为材料,设2个P水平,基质有效P含量3.3 mg·kg<sup>-1</sup>和13.4 mg·kg<sup>-1</sup>,发现低P有利于巨桉苗外生菌根菌发育,而高P时巨桉苗外生菌根的百分比变异较大;Vieira R F等<sup>[10]</sup>以彩色豆马勃为材料,基质有效P水平为0、1.7、23.0、47.0、94.0、141.2和188.0 mg·kg<sup>-1</sup>,巨桉苗菌根菌侵染率较大的有效P水平为23.0、4.0和94.0 mg·

$\text{kg}^{-1}$ , 表明为获得发育良好的菌根菌化苗木, 建议 P 的施用应低于常规苗木生产所需的 P。以上试验结果有差异, 可能是试验中采用的外生菌根菌菌株和试验条件不同有关, 但上述温室试验都表明一定范围的较低 P 水平利于外生菌根菌发育。Dell B 等<sup>[11]</sup>也阐述了较低 P 水平有利于菌根菌侵染。

为使野外施肥试验结果能用于菌根化苗木造林实践, 本文采用了向较低 P 水平方向选择必须施 P 量的方法, 从经济学角度看是合理的。施 P 量确定采用如下原则: 选择某生长指标, 以表 4 中的比值确定各种树种不同施 P 量的高峰区域及其持续长短, 然后找对表 3 中与最大施 P 量的生长无显著差异的施 P 量作为菌根化苗木造林时的施 P 量, 这样既可促进树木生长又有利于桉树菌根菌侵染。进一步在推荐量范围内筛选适宜菌根菌可能会更有实际意义。对推荐量是否也可作为高峰区域后追施 P 肥用量, 有待进一步研究。

### 参考文献:

- [1] Evans J. Plantation forestry in the tropics (2nd ed.) [M]. Oxford: Clarendon Press, 1992.
- [2] Gupta G N, Mohan S. Response of *Eucalyptus* to moisture and fertilizer on degraded soil [J]. J of the Indian Society of Soil Science, 1989, 37(3): 499 ~ 505.
- [3] Kirschbaum M U F, Tompkins D. Photosynthetic responses to phosphorus nutrition in *Eucalyptus grandis* seedlings [J]. Australian J of Plant Physiology, 1990, 17(5): 527 ~ 535.
- [4] Prasad K G, Rawat V R S. Fertilizer use efficiency of different tree species for higher biomass product [J]. Indian Forester, 1992, 118(4): 265 ~ 270.
- [5] Schöna A P G, Herbert M A. Relationship between rate, fertilising and foliar nutrient concentration for *Eucalyptus grandis*: preliminary investigations [J]. Fertil Res, 1983, 4: 369 ~ 380.
- [6] Schöna A P G. Additional effects of fertilising on several foliar nutrient concentration and ratio in *Eucalyptus grandis* [J]. Fertil Res, 1982, 3: 385 ~ 397.
- [7] Soares I, Borges A C, Barros N F de, et al. Effect of available soil phosphorus on ectomycorrhizal development and on nutrition and growth of eucalyptus seedlings [J]. Revista Arvore, 1989, 13(2): 140 ~ 151.
- [8] Swaminath M H, Ravindran D S. Studies on optimising root-shoot ratio of seedlings for planting [J]. Myforest, 1990, 26(1): 95 ~ 103.
- [9] Vieira R F, Peres J R R. Definition of the phosphorus level in soil for maximum efficiency of ectomycorrhizal association in *Eucalyptus grandis* [J]. Revista Brasileira de Ciencia do Solo, 1988, 12(3): 237 ~ 241.
- [10] Vieira R F, Peres J R R. Selection of efficient ectomycorrhizae fungi for *Eucalyptus grandis* [J]. Revista Brasileira de Ciencia do Solo, 1988, 12(3): 231 ~ 235.
- [11] Dell B, Malajczuk. Fertilizer requirements for ectomycorrhizal eucalyptus in forest nurseries and field plantings in southern China. Mycorrhizas for Plantation Forestry in Asia [A]. ACIAR Proceedings No. 62 [C], Canberra: ACIAR, 1995. 96 ~ 100.
- [12] 仲崇祿, Reddellaul P. 六种土壤类型上巨桉苗缺素试验[J]. 林业科学研究, 1994, 6(6): 705 ~ 708.
- [13] SAS. SAS/STAT user's guide for personal computers. Release 6.03 edition [M]. Gary, NC, USA: SAS institute, 1988.
- [14] 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.

## The Potential Minimum Phosphorus Fertilizing for *Eucalyptus camaldulensis*, *E. grandis* and *E. tereticornis*

ZHONG Chong-lu<sup>1</sup>, GONG Ming-qin<sup>1</sup>, CHEN Yu<sup>1</sup>,  
WANG Feng-zhen<sup>1</sup>, GUAN Ze-kou<sup>2</sup>, Bernard DELL<sup>3</sup>

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

2. Forestry Institute of Yangxi County, Guangdong Province, Yangxi 529800, Guangdong, China;

3. School of Biological Science and Biotechnology, Murdoch University, Perth, WA 6150, Australia)

**Abstract:** A fertilizing experiment was established in March 1989, at Yangxi, Guangdong, China. A randomised block split-plot design was employed in which 10 phosphorus rates (0, 5, 10, 15, 25, 35, 50, 100, 150, 200 kg(P) · hm<sup>-2</sup> as superphosphate in sub-plots randomised within main plots which represented 3 *Eucalyptus* species, *Eucalyptus camaldulensis*, *E. grandis* and *E. tereticornis*. The tree heights were measured at 1, 3, 6, 9, 12, 21, 24, 64 months after planting, and *DBH* at 9, 12, 21, 24, 40 and 64 months. The results showed that the tree heights from 1 to 64 months and *DBH* from 9 to 64 months were significant differences ( $P < 0.01$  or  $P < 0.05$ ) between unfertilizing and 9 P treatments, and between 3 *Eucalyptus* species. Phosphorus fertilizer can clearly improve the growth of tree heights and *DBH*, but the improvement was different in phosphorus needs among the 3 tree species, that is, tree heights and *DBH* measured from 6 to 64 months were significant interaction effect between tree species and phosphorus treatment, and the starting and end of the high effectiveness periods were differences between 3 species. It was suggested that potential lower quantity of phosphorus fertilizer when planting in field, respectively 50 ~ 100 kg(P) · hm<sup>-2</sup> for *E. camaldulensis* and *E. grandis*, and 25 ~ 100 kg(P) · hm<sup>-2</sup> for *E. tereticornis*.

**Key words:** *Eucalyptus*; phosphorus; growth; interaction