

雷州半岛桉树不同品种和树龄对磷吸收的影响

赵 贵¹, 丁效东², 王荣萍², 廖新荣², 李淑仪²

(1. 广东国有雷州林业局, 广东 遂溪 524348; 2. 广东省生态环境与土壤研究所, 广东 广州 510650)

摘要: 研究雷州半岛 2 种主要桉树品种刚果 12W₅(*Eucalyptus* ABL 12)和尾叶桉 U6(*Eucalyptus grandis* U6)不同树龄不同部位对磷素养分的吸收特征和年际磷需求量。结果表明: 1 年生刚果 12W₅ 和尾叶桉 U6 磷质量分数没有显著差异, 但是 1 年生后植株磷质量分数前者显著低于后者; 幼龄期时磷素主要分布在叶和枝中, 随树龄增加树干、树皮和根中磷素有增加的趋势; 磷素对不同树龄的桉树干物质积累量有显著影响, 2 种桉树的干物质量均为树干最大, 树叶最小, 各器官干物质量排序为: 干>根>枝>皮>叶; 从磷效率来看, 单位质量磷对刚果 12W₅ 干物质量的积累量比对尾叶桉 U6 干物质量的积累更加显著, 表明刚果 12W₅ 对磷素需求低于尾叶桉 U6。因此, 在桉树生产中应注意因树种、因树龄进行磷素的施肥与管理。图 4 参 12

关键词: 森林培育学; 桉树; 品种; 磷素; 吸收

中图分类号: S718.4 文献标志码: A 文章编号: 2095-0756(2012)03-0407-05

Phosphorus absorption of two different *Eucalyptus* cultivars at different tree ages in the Leizhou Peninsula

ZHAO Gui¹, DING Xiao-dong², WANG Rong-ping², LIAO Xin-rong², LI Shu-yi²

(1. State-owned Leizhou Forest Enterprise, Suixi 524348, Guangdong, China; 2. Guangdong Institute of Eco-environment and Soil Sciences, Guangzhou 510650, Guangdong, China)

Abstract: To clarify the characteristics of phosphorus uptake and distribution of *Eucalyptus* species, the effect of different ages on phosphorus (P) demand and absorption for *Eucalyptus* ABL 12 and *Eucalyptus grandis* U6 were studied. We selected the one to six years old of the tree randomly, and the one year age tree (P_{1YR}) and more than one year age tree ($P_{>1YR}$) were separated as the two compared communities with ten replications. The P concentration of different part was analyzed by Mo-Sb colorimetry. Results showed no difference in P concentration between *Eucalyptus* ABL 12 and *E. grandis* U6 at one year of age (P_{1YR}). However, for that of more than one year of age ($P_{>1YR}$), P concentration of *Eucalyptus* ABL 12 was significantly lower than that of *E. grandis* U6 ($P<0.05$). For the young *Eucalyptus* tree, P was mainly distributed in leaves and branches with increases in the trunk, tree bark, and roots as the tree aged. Also, P concentration significantly ($P<0.05$) affected dry matter accumulation, for the both species of the *Eucalyptus* trees, the order of accumulated dry matter showed as trunk > roots > branches > tree bark > leaves. According to P efficiency, dry matter accumulation per kg of P showed *Eucalyptus* ABL 12 > *E. grandis* U6, meaning less P was required for *Eucalyptus* ABL 12. Therefore, P fertilizer application and management for *Eucalyptus* should take into consideration different varieties and different tree ages. [Ch, 4 fig. 12 ref.]

Key words: silviculture; *Eucalyptus*; variety; phosphorus; uptake

桉树 *Eucalyptus* 是中国南方主要的速生丰产树种。雷州半岛地区桉树人工林的大量营造成了解决中

收稿日期: 2011-08-01; 修回日期: 2011-10-24

基金项目: 广东省重大科技专项(2009A080303008); 广东省科学院青年科学基金资助项目(qnjjsq201102)

作者简介: 赵贵, 工程师, 从事桉树营养与栽培等研究。E-mail: zhaogui2004@163.com。通信作者: 李淑仪, 研究员, 从事环境生态与植物营养研究。E-mail: lishuyi@soil.gd.cn

国林业资源危机和农民致富的手段之一^[1-2]。该地区栽植的桉树多为短轮伐期桉树人工林，生长过程中经历不同的龄期，即幼林期、中林期、砍伐期。合理施肥是促进桉树正常生长和可持续发展的重要措施，不同的龄期有其特殊的生理特点和营养需求^[1]。周文龙^[3]对尾叶桉 *Eucalyptus grandis* 幼林期需肥特性的研究发现，幼林期营养对生长至关重要。周文龙等^[4]在尾叶桉施肥试验中，将出现严重缺素症状的叶片分析结果与最佳施肥处理林分叶片分析结果进行比较，发现磷是影响尾叶桉幼龄林分生长的限制因子，而反映在叶片中的养分含量与土壤的养分供应量十分吻合。仲崇禄等^[5]对不同桉树品种幼林期施磷量进行了研究。合理施肥需要了解不同品种、不同龄期桉树对营养元素的吸收特征^[6-7]。在砖红壤地区，磷被强烈固定，有效性较低，磷素缺乏严重制约了桉树的正常生长^[1,8]。了解桉树不同龄期对磷素吸收的特征以及桉树对磷素营养需求可为桉树人工林地力维持和磷肥的合理施用提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区域

试验区位于中国重要的桉树人工林生产基地——广东雷州半岛雷州林业局，土壤类型为玄武岩发育的砖红壤。2004年，桉树栽植前采集土壤样品，测定其基本理化性质： $\text{pH } 4.8 \pm 0.06$ ，有机质(20.1 ± 3.0) $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，碱解氮(49.6 ± 6.0) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，速效磷(0.32 ± 0.11) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ (以 $0.05 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的氯化氢和 $0.0125 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的稀硫酸混合液作为浸提剂)，速效钾(5.3 ± 0.3) $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。该地区土壤有明显的热带土壤特征，土层深厚，风化强烈，高度富铝化，颜色深红，酸度大，盐基不饱和。

1.2 试验材料

树龄为1~6年生的正常生长的2种桉树品种：刚果12W₅(*Eucalyptus ABL 12*)和尾叶桉 U6(*Eucalyptus grandis U6*)。桉树栽植过程中进行基肥和追肥管理。基肥：施用堆肥 $8.25 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$ [有机肥加磷肥(含磷 $160 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$)，有机肥为滤泥，加拌有过磷酸钙沤腐熟20 d以上制成(1:0.075)]，均匀施入开穴中，然后覆土。追肥管理：第1年，当幼苗长至1 m高时(定植后2个月)，追施尿素 $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ，氧化钾 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。第2年，5月份前在株间施，开穴在2株树木中间，施用复合肥 $525 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；第3年，施用复合肥 $675 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ；第4年，施用复合肥 $675 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

1.3 植株样品采集和制备

在每年的林木生长缓慢期(11~12月)采集不同树龄样品。采样部位是从树冠上部1/3处的各个方向，随即采集生长完全、无缺陷的新成叶片， $10 \text{ 片} \cdot \text{株}^{-1}$ ，各个小区选取生长均匀的10株树采集叶作为1个混合样。凋落物、残落物及其他植株样品，均以多点采集混合样。同时选择1株代表株，带根挖起，分叶、枝、皮、干、根，分别称鲜质量，烘干后称量，计算各部位生物量，并测定磷质量分数，计算磷吸收量。

1.4 样品测定

植物样经硫酸-过氧化氢($\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$)消煮后用钼锑抗比色法测植株磷质量分数^[9]。

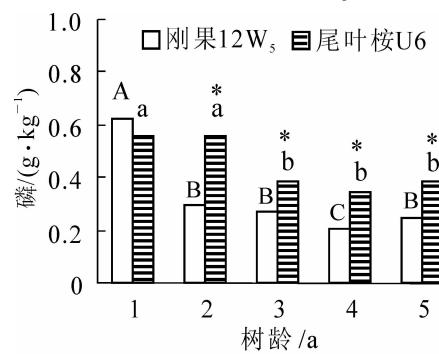
1.5 数据统计

所有数据采用SASTM软件(SAS Institute Inc., 1989)^[10]进行单因素显著性检验。用最小显著差(LSD)法在 $P=0.05$ 水平进行多重比较。

2 结果与分析

2.1 树龄对2种桉树总的磷浓度的影响

从桉树总的磷质量分数来看(图1)，1年生时刚果12W₅与尾叶桉U6之间磷质量分数没有显著性差异，但是随树龄增加前者磷质量分数显著低于后者。1年生时刚果12W₅磷质量分数是其余树龄时磷质量



小(大)写字母表示在同一桉树不同树龄桉树之间磷质量分数差异显著($P < 0.05$);*表示同一树龄时2种桉树之间磷质量分数差异显著($P < 0.05$)。

图1 树龄对2种桉树总磷质量分数的影响

Figure 1 Effect of different age on phosphorus concentration in *Eucalyptus*

分数的 2 倍, 而其余树龄之间磷质量分数没有显著性差异; 1 年生时尾叶桉 U6 与 2 年生时尾叶桉 U6 之间磷质量分数没有显著性差异, 但是两者显著高于树龄为 3, 4, 5 年生尾叶桉 U6 磷质量分数, 而树龄为 3, 4 和 5 年生时之间尾叶桉 U6 磷质量分数没有显著性差异。

2.2 树龄对桉树不同部位磷质量分数的影响

从树龄对 2 种桉树不同部位磷质量分数的影响来看(图 2), 8 月龄和 56 月龄时刚果 12W₅ 与尾叶桉 U6 之间树干中磷质量分数没有显著差异, 但是 32 月龄时前者显著高于后者; 刚果 12W₅ 树干中磷质量分数 32 月龄时显著高于 8 月龄和 56 月龄时, 而树龄对尾叶桉 U6 树干中磷质量分数没有显著性影响。

相同树龄时刚果 12W₅ 与尾叶桉 U6 之间枝中磷质量分数没有显著性差异, 且树龄对 2 种桉树枝中磷质量分数影响有相同的趋势, 即 8 月龄时磷质量分数高于 32 月龄时磷质量分数, 而 56 月龄时高于 32 月龄时。

树龄对 2 种桉树之间叶中磷质量分数影响较大。相同树龄时尾叶桉 U6 叶中磷质量分数显著高于刚果 12W₅ 叶中磷质量分数; 而树龄对刚果 12W₅ 叶中磷质量分数没有显著性影响, 但是尾叶桉 U6 叶中磷质量分数在 32 月龄时最高, 其次是 56 月龄时, 最后是 8 月龄时。

刚果 12W₅ 与尾叶桉 U6 皮中磷质量分数随树龄的增加有不同的变化趋势, 前者随树龄的增加皮中磷质量分数显著增加, 而后者随树龄的增加皮中磷质量分数有降低的趋势。皮中磷质量分数在 8 月龄时后者显著高于前者, 32 月龄时 2 种没有显著性差异, 但是 56 月龄时前者显著高于后者。

8 月龄和 56 月龄时刚果 12W₅ 与尾叶桉 U6 之间根中磷质量分数后者显著高于前者, 但是 32 月龄时两者根中磷质量分数没有显著性差异; 刚果 12W₅ 根中磷质量分数 32 月龄时显著高于 8 月龄和 56 月龄时, 而树龄对尾叶桉 U6 树干中磷质量分数没有显著性影响。

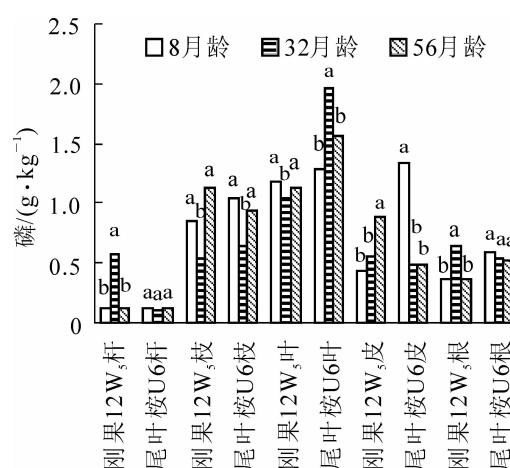
2.3 树龄对桉树生物量和磷质量分数的影响

2 种桉树的总干物质量示于图 3-A。相同树龄时, 刚果 12W₅ 总干物质量显著高于尾叶桉 U6 总干物质量。从不同部位干物质量来看, 1 年生时, 树干干物质量前者高于后者, 而其余部位干物质量两者没有显著性差异; 2 年生时, 树干干物质量前者高于后者, 而枝干物质量前者低于后者, 其余部位之间没有显著性差异; 3 年生时, 树干干物质量前者高于后者, 而其余部位干物质量两者没有显著性差异; 4 年生时两者之间与 3 年树龄时有相同的趋势; 5 年生时树干干物质量前者高于后者, 根干物质量前者低于后者, 其余部位两者之间没有显著性差异。

2 种桉树的总磷质量分数示于图 3-B。1 年生时, 刚果 12W₅ 总磷质量分数显著高于尾叶桉 U6 总磷质量分数; 2 年生和 3 年生时, 2 种桉树总磷质量分数之间没有显著差异; 而 4 年生和 5 年生时, 前者总磷质量分数显著低于后者总磷质量分数。从不同部位磷质量分数来看, 1 年生时, 枝中磷质量分数前者高于后者, 叶中磷质量分数前者低于后者, 而其余部位磷质量分数两者没有显著性差异; 2 年生时, 树干磷质量分数前者显著高于后者, 而枝和皮中磷质量分数前者低于后者, 其余部位之间没有显著性差异; 3 年生时, 叶中磷质量分数前者低于后者, 而其余部位磷质量分数两者没有显著性差异; 4 年生时, 两者之间与 3 年生时有相同的趋势; 5 年生时树干、叶以及皮中磷质量分数前者高于后者, 而枝和根中磷质量分数前者低于后者。

2.4 树龄对 2 种桉树干物质积累量与磷吸收效率的影响

根据每年干物质积累量比较(图 4-A), 树龄在 1~3 年生的刚果 12W₅ 干物质积累量为 $44.45 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 而尾叶桉 U6 干物质积累量为 $20.93 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。树龄在 4~6 年生的刚果 12W₅ 干物质积累量为 $41.85 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 而尾叶桉 U6 干物质积累量为 $20.93 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。



不同小写字母表示在同一桉树不同树龄磷质量分数差异显著($P < 0.05$)。

图 2 树龄对桉树不同部位磷质量分数的影响

Figure 2 Effect of different age on phosphorus concentration of different parts in *Eucalyptus*

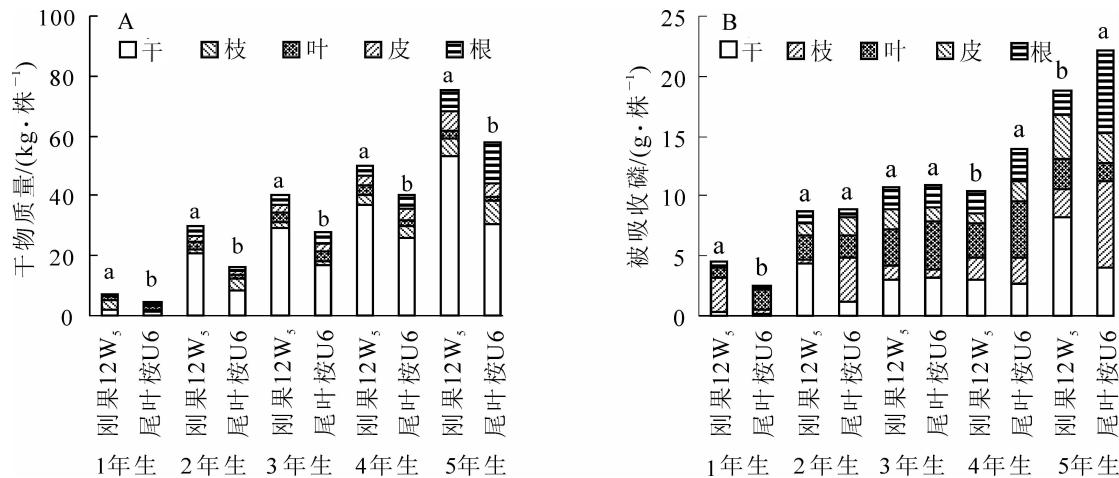


图3 树龄对2种桉树干物质量(A)和磷吸收(B)的影响

Figure 3 Effect of different tree ages on the biomass (A) and phosphorus uptake (B) of *Eucalyptus*

$\text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$, 而尾叶桉 U6 干物质积累量为 $24.00 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$ 。表明树龄对干物质的年积累量没有显著性影响, 而树种之间干物质的年积累量之间差异较大。

从每年磷的吸收量来看(图 4-B), 树龄为 1~3 年生的刚果 12W₅ 磷吸收量($11.96 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)显著高于尾叶桉 U6 磷吸收量($7.67 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)。树龄为 4~6 年生的刚果 12W₅ 磷吸收量($10.45 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)与尾叶桉 U6 磷吸收量没有显著性差异($9.96 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$)。

从磷效率来看, 树龄为 1~3 年生的刚果 12W₅ 吸收单位质量磷能够生产干物质量($3.7 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$)显著高于尾叶桉 U6($2.7 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$); 与树龄 1~3 年生相比, 树龄为 4~6 年生的刚果 12W₅ 吸收单位质量磷能够生产干物质量($4.0 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$)有增加的趋势, 而尾叶桉 U6 吸收单位质量磷能够生产干物质量($2.4 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2} \cdot \text{kg}^{-1}$)有降低的趋势。

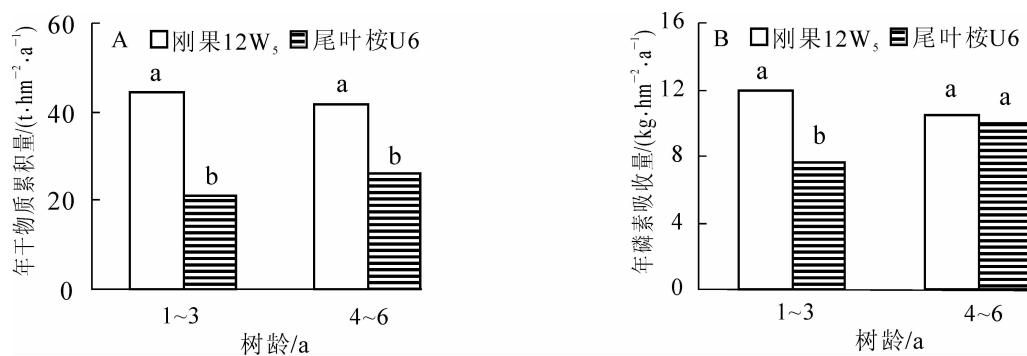


图4 树龄对2种桉树干物质积累量(A)与磷效率(B)的影响

Figure 4 Effect of different tree ages on dry matter accumulation (A) and phosphorus efficiency (B) in *Eucalyptus*

3 讨论

桉树是多年生的深根性木本植物, 对养分的吸收、施肥效应均有其独自的特点^[1]。合理施肥是桉树生产的一项重要技术措施, 需要根据不同桉树品种、树龄、时期以及植株的营养特性进行施肥管理。本研究结果表明, 不同品种、不同年龄桉树对磷养分的需求不同(图 2)。不同桉树树种在各生育期各器官中磷素的分布随着生长期而有规律地变化, 幼龄期时磷素主要分布在叶和枝中, 随树龄增加桉树干、皮和根中磷素有增加的趋势(图 2)。养分吸收量反映桉树对磷素的需求特性, 是指导施肥的重要参数之一^[11]。根据研究结果, 桉树对磷素吸收有其不同生育期生理需求。李淑仪等^[11]研究发现, 施肥能够显著提高各器官中养分含量, 而同一器官中氮、钾、钙、镁与磷的比例却降低了, 施肥对各器官的磷素的提高比其他元素显著, 表明施肥对桉树磷素的提高有更显著的效果^[1,12]。磷素对不同树龄的桉树干物质积累量有显著

影响(图 4)。从磷效率来看, 磷素对刚果 12W₅ 干物质量的积累效率比尾叶桉 U6 干物质量的积累效率更加显著, 表明刚果 12W₅ 单位干物质量的增加对磷的需求显著低于尾叶桉 U6(图 4)。因此, 在桉树生产中应注意因树种、因树龄进行磷素的施肥与管理。

参考文献:

- [1] 李淑仪, 钟继洪, 莫晓勇, 等. 桉树土壤与营养研究[M]. 广州: 广东科技出版社, 2007: 1–12.
- [2] 廖观荣, 林书蓉, 李淑仪, 等. 雷州半岛桉树人工林地力退化的现状和特征[J]. 土壤与环境, 2001, 10 (4): 25–28.
LIAO Guanrong, LIN Shurong, LI Shuyi, et al. The current status and characteristics of land capacity degeneration of eucalyptus plantation in Leizhou Peninsula [J]. *Soil Environ Sci*, 2001, 10 (4): 25–28.
- [3] 周文龙. 尾叶桉幼林施肥效应的研究[J]. 林业科学, 1995, 8 (2): 159–163.
ZHOU Wenlong. A study of fertilization effect on young trees of *Eucalyptus urophylla* [J]. *For Res*, 1995, 8 (2): 159–163.
- [4] 周文龙, 杨增奖. 桉树施用及营养诊断中的几个问题[J]. 广东林业科技, 1994 (4): 5–10.
ZHOU Wenlong, YANG Zengjiang. Fertilization and question existing in nutrition diagnose of *Eucalyptus* [J]. *J Guangdong For Sci Technol*, 1994 (4): 5–10.
- [5] 仲崇禄, 弓明钦, 陈羽, 等. 赤桉、细叶桉和巨桉幼林施磷量的确定[J]. 林业科学, 2000, 13 (4): 377–384.
ZHONG Chonglu, GONG Mingqin, CHEN Yu, et al. The potential minimum phosphorus fertilizing for *Eucalyptus camaldulensis*, *E. grandis* and *E. tereticornis* [J]. *For Res*, 2000, 13 (4): 377–384.
- [6] 李淑仪, 林书蓉, 廖观荣, 等. 桉树营养状况与叶片营养诊断研究[J]. 林业科学, 1996, 32 (6): 481–490.
LI Shuyi, LIN Shurong, LIAO Guanrong, et al. A study on nutrient status and foliar nutrient diagnosis in *Eucalyptus* [J]. *Sci Silv Sin*, 1996, 32 (6): 481–490.
- [7] 黄益宗, 冯宗炜, 李志先, 等. 尾叶桉叶片氮磷钾钙镁硼元素营养诊断指标[J]. 生态学报, 2002, 22 (8): 1254–1259.
HUANG Yizong, FENG Zongwei, LI Zhixian, et al. Diagnos is of foliar nutrients (N, P, K, Ca, Mg, B) of young *Eucalyptus urophylla* trees [J]. *Acta Ecol Sin*, 2002, 22 (8): 1254–1259.
- [8] 李淑仪, 蓝佩玲, 廖新荣, 等. 玄武岩砖红壤磷肥活化效果及其机理研究[J]. 土壤与环境, 2001, 10 (4): 311–315.
LI Shuyi, LAN Peiling, LIAO Xinrong, et al. Study on activating effects and mechanisms of phosphatic manure in latol derived from basalt [J]. *Soil Environ Sci*, 2001, 10 (4): 311–315.
- [9] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2000: 81–83.
- [10] CARY N C . SAS/STAT User's Guide [M]. New York: SAS Institute Incorporated, 1989.
- [11] 李淑仪, 蓝佩玲, 廖新荣, 等. 雷州桉树人工林下土壤磷肥活化效果及机理研究[J]. 林业科学, 2002, 15 (3): 261–268.
LI Shuyi, LAN Peiling, LIAO Xinrong, et al. Research on activation effects and mechanisms of phosphatic manure in soil under the eucalypt plantation in Leizhou Peninsula [J]. *For Res*, 2002, 15 (3): 261–268.
- [12] 杨曾奖, 郑海水, 翁启杰, 等. 刚果 12 号桉施肥效应研究[J]. 广东林业科技, 1997(3): 14–18.
YANG Zengjiang, ZHENG Haishui, WENG Qijie, et al. The responses of responses of fertilization on the plantations of *Eucalyptus ABL 12* [J]. *J Guangdong For Sci Technol*, 1997(3): 14–18.