

文章编号: 1001-1498(2006)02-0135-06

尾叶桉 × 细叶桉杂种无性系扦插生根和生长性状的研究*

甘四明¹, 李梅¹, 李发根¹, 吴坤明¹, 吴菊英¹, 卢国桓², 白嘉雨¹

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520; 2. 广东省新会市林业局, 广东 新会 529100)

摘要:对尾叶桉 × 细叶桉 5个杂种组合的 181个无性系扦插生根和生长性状的研究表明:每穗根数、每穗最长根长和生根率 3个扦插生根性状,杂种组合间和杂种组合内无性系间的差异均达 0.01显著水平;46个月生树高、胸径和单株材积 3个生长性状,杂种组合间差异不显著,杂种组合内无性系间的差异达 0.01显著水平。无性系扦插生根性状和生长性状的广义遗传力介于 0.32(每穗最长根长) ~ 0.94(生根率)之间,表明各性状受中等到高等程度的遗传控制。无性系扦插生根性状平均值与生长性状平均值的表型相关均不显著。无性系各生长性状在 13、18、46个月生之间的年年相关均达到 0.01显著水平,表明在较早生长期进行无性系选择具有一定的可行性。本研究初选出易扦插、速生的尾细桉杂种无性系 24个,无性系间单株材积株间变异系数为 13.87% ~ 68.55%,无性系内变异可能与母株年龄效应、位置效应和立地环境条件等 C效应因子有关。对桉树杂交育种而言,杂交制种后直接进行育苗、扦插和无性系试验是一条快捷有效的无性系培育途径。

关键词:桉树;杂种;无性系;扦插;生长;广义遗传力

中图分类号: S723.1⁺32 **文献标识码:** A

Analysis on Cutting and Growth Traits of Clones of *Eucalyptus urophylla* × *E. tereticornis*

GAN Si-ming¹, LI Mei¹, LI Fa-gen¹, WU Kun-ming¹, WU Ju-ying¹, LU Guo-huan², BAI Jia-yu¹

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

2. Xinhui Bureau of Forestry, Xinhui 529100, Guangdong, China)

Abstract: This paper presented the analysis on cutting and growth traits of 181 clones representing five *E. urophylla* S. T. Blake × *E. tereticornis* Smith hybrids. The hybrids and the clones within hybrid differed in all three cutting traits, number of roots per cutting (RN), the maximum root length per cutting (RL), and rooting percentage per plot (RP), at 0.01 significance level. For the three growth traits, height (H), diameter at breast height (D), and volume (V), the clones within hybrid differed at 0.01 significant level when 46 months old, while the hybrids showed non-significant difference. The broad-sense heritability ranged from 0.32 to 0.94, implying moderate to high genetic control of the traits studied. No significant correlation was found between cutting traits and growth traits though either cutting traits or growth traits showed significant correlations ($p < 0.01$). Age-age correlations between 13, 18, and 46 months were significant at 0.01 level in all the growth traits, indicating the availability of clone selection at a relatively early age. Twenty-four superior clones were selected for further pilot trials basing on their performance in cutting and growth traits. It is efficient in eucalypt breeding to carry out clone test with cuttings raised directly from hybrid seed.

Key words: *Eucalyptus*; hybrid; clone; cutting; growth; broad-sense heritability

收稿日期: 2005-02-28

基金项目: 国家自然科学基金(30371173)和教育部“留学回国人员科研启动基金”

作者简介: 甘四明(1970—),男,四川邻水人,博士,副研究员,主要从事林木育种与分子遗传研究。

*广东省新会市大泽镇林业站吕振业先生对试验林营建、维护和观测提供了大力支持,热林所徐建民研究员为扦插试验提供了温室条件,特此致谢!

桉树属 (*Eucalyptus* L H éit) 包括 808 种和 137 变种^[1], 种间杂交产生杂种优势的潜力巨大^[2,3]。桉树杂种优势利用中, 扦插 (尤其是组培后扦插) 是优良杂种单株利用最广泛、最有效的途径, 因此, 扦插生根和生长性状均是杂种无性系选育的重要指标^[4], 其遗传变异研究和遗传参数估算对速生、易扦插无性系的培育具有重要意义。到目前为止, 利用种源/半同胞家系^[5~8]、全同胞家系^[9,10]、杂种^[11,12]和无性系^[13,14]为材料已对桉树生长性状进行了较多的遗传分析, 但扦插生根性状的遗传研究仍极少报道。

近 20 年来, 桉树杂交育种和杂种利用在全球热带和亚热带地区取得了显著成绩, 尾叶桉 (*E. urophylla* S T Blake) × 巨桉 (*E. grandis* W. Hill ex Maiden) (简称尾巨桉)、巨桉 × 尾叶桉 (简称巨尾桉)、巨桉 × 赤桉 (*E. camaldulensis* Dehnh) 等优良杂种无性系已广泛用于短周期工业用材林营建^[4,15]。在我国, 桉树杂交育种和杂种无性系培育进展迅速^[3,16,17], 一批尾巨桉和巨尾桉无性系广泛用于营林生产; 但是, 由于多方面的原因, 国内桉树无性系营林中存在无性系数量少、无性系逐渐退化

和良种化程度有待提高等问题, 如何快速培育更多、更好的桉树无性系, 尤其是杂种无性系, 仍是我国桉树良种工作中急需解决的问题。

尾叶桉原产于印度尼西亚, 细叶桉 (*E. tereticornis* Smith) 原产于澳大利亚, 均为重要的工业用材树种, 并且两树种杂交能产生显著的杂种优势^[18]。本文通过开展尾叶桉 × 细叶桉 (简称尾细桉) 杂种无性系的扦插生根和生长性状研究, 旨在探索杂种无性系扦插生根和生长性状的遗传变异, 估算遗传参数, 选择速生和易扦插的杂种无性系用于桉树营林生产, 这对促进我国桉树杂交育种、提高桉树营林的良种数量和质量均有积极意义。

1 材料和方法

1.1 研究材料

参试尾叶桉 × 细叶桉杂种组合 5 个, 亲本选自前期种源试验林或人工林。杂种种子于 1997 年 8 月播种, 1998 年 1 月定植幼苗于采穗圃, 后截干, 1999 年 9 月底取萌条扦插。共有 181 株杂种单株扦插成苗并参试, 各杂种及其参试无性系数见表 1。

表 1 参试尾叶桉 × 细叶桉杂种组合及其无性系数、扦插生根平均表现和 46 个月生生长平均表现

杂种组合	亲本组合	无性系数	扦插生根性状平均值			46 个月生时保存无性系数数量 (保存率 / %)	46 个月生生长性状平均值		
			每穗根数 / 根	最长根长 / cm	生根率 / %		树高 / m	胸径 / cm	材积 / (m ³ · 株 ⁻¹)
1	<i>E. u</i> x-30 × <i>E. t</i> 13443-05	148	5.82 ± 0.03	10.02 ± 0.57	41.35 ± 2.63	135 (91.22)	10.71 ± 0.37	10.27 ± 0.39	0.0445 ± 0.0213
2	<i>E. u</i> x-30 × <i>E. t</i> 13418-01	9	7.13 ± 0.34	12.76 ± 0.62	31.15 ± 2.04	8 (88.89)	11.09 ± 0.05	10.36 ± 0.07	0.0430 ± 0.0193
3	<i>E. u</i> 14531-38 × <i>E. t</i> 13418-01	10	6.93 ± 0.61	8.82 ± 0.28	27.04 ± 1.72	8 (80.00)	10.47 ± 0.58	10.23 ± 0.63	0.0417 ± 0.0224
4	<i>E. u</i> 14531-38 × <i>E. t</i> 13443-01	8	8.99 ± 0.60	11.63 ± 0.26	52.78 ± 1.65	6 (75.00)	10.96 ± 0.74	10.41 ± 0.52	0.0415 ± 0.0168
5	<i>E. u</i> x-01 × <i>E. t</i> 13660-09	6	8.07 ± 0.49	11.23 ± 0.90	44.71 ± 3.04	5 (83.33)	11.33 ± 0.88	10.94 ± 0.98	0.0496 ± 0.0194

注: *E. u* 和 *E. t* 分别表示尾叶桉和细叶桉; 亲本组合中, “-”后 2 位为自编号, “-”前 x 表示选自人工林, “-”前 5 位数为来自前期试验林的种批号 (澳大利亚林木种子中心编号)。保存率指各杂种内保存的无性系数个数占总无性系数数量的百分比。

1.2 扦插试验

扦插试验在中国林业科学研究院热带林业研究所的温室中进行。扦插容器为 10 cm × 5 cm 白色塑料育苗袋, 扦插基质 (组成为: 黄心土 1 蛭石 1 火烧土 1) 用 0.3% 的 KMnO₄ 消毒, 扦插生根粉为自配。扦插过程中, 将剪下的萌条切口浸于清水中临时保存, 根据萌条大小将其剪切和修整为 1 条或数条具 1 ~ 2 对真叶的插穗, 各真叶剪去半片, 插穗在 0.3% 的 KMnO₄ 中浸泡 10 min 左右捞出浸于清水中, 后蘸生根粉插于基质中, 每育苗袋扦插 1 条插穗。试验设计为随机完全区组, 3 次重复, 每小区 10 条插穗。扦插 1.5 个月后, 于 1999 年 11 月初统计各穗条的

生根数 (RN) 和最长根长 (RL, cm) 以及各小区的生根率 (RP, %)。对尚未出根但已形成愈伤组织的插穗, 其根数和最长根长均记录为 1。

1.3 大田生长试验

杂种无性系的大田试验设在广东省新会市大泽镇 (22°32' N, 113°02' E), 年降水量 1750 mm, 年平均气温 22.3 °C。试验地海拔 35 ~ 60 m, 坡度 20 左右, 为花岗岩发育的红壤, 肥力偏低, 前作为马尾松 (*Pinus massoniana* Lamb)。

大田试验为随机完全区组设计, 单行 2 株小区, 3 次重复, 株行距 2 m × 3 m。2000 年 4 月造林, 挖穴 50 cm × 50 cm × 40 cm, 每穴施复合肥 150 g 和过磷

酸钙 100 g 作基肥,常规营林措施。试验林 13、18、46 个月生时分别观测树高 (H , m) 和胸径 (D , cm), 并按下面公式计算单株材积 (V , m^3):

$$V = HD^2 / 30\ 000$$

1.4 统计分析

对扦插生根性状 (RN 、 RL 和 RP) 和 46 个月生生长性状 (H 、 D 和 V) 进行分析,方差分析通过 SAS GLM 过程完成,方差分量估算通过 SAS VARCOMP 过程,利用混合线性模型公式进行:

$$Y_{ij} = \mu + C_i + B_j + E_{ij}$$

其中, Y_{ij} 为无性系 i 在重复 j 的表型值, μ 为总体平均值, C_i 为无性系 i 的遗传效应, B_j 为重复 j 的效应(固定), E_{ij} 为误差。

广义遗传力 (H^2) 的估算公式为:

$$H^2 = \frac{\sigma_c^2}{\sigma_c^2 + \sigma_p^2}$$

其中, σ_c^2 为无性系方差分量, σ_p^2 为总的表型方差。

无性系扦插生根性状平均值与生长性状平均值之间的表型相关以及各生长性状在 13、18、46 个月生之间的年年相关分析均通过 SAS CORR 过程完

成;无性系间单株材积的多重比较分析为最小显著差数法 (LSD, $\alpha = 0.05$), 通过 SAS MEANS 过程完成;统计分析均利用 SAS 软件进行^[19]。

2 结果与讨论

2.1 杂种无性系扦插生根性状和 46 个月生生长性状的方差分析

各杂种组合每穗根数、最长根长和生根率的平均值均有差别(表 1)。对 3 个扦插生根性状的方差分析(表 2)表明:3 个性状在杂种组合间和杂种组合内无性系间的差异均达 0.01 显著水平,但重复间差异不显著。

试验林 46 个月生时,5 个杂种组合的 181 个无性系保存 162 个,不同杂种组合的保存率和生长性状平均值均有差别(表 1)。对 46 个月生 3 个生长性状的方差分析(表 2)表明:杂种组合内无性系间的差异均达 0.01 显著水平,但杂种组合间和重复间差异均不显著。

表 2 参试杂种组合/无性系扦插生根性状和 46 个月生生长性状的方差分析

项目	变异来源	df	MS	F	P	
扦插生根性状	每穗根数	组合间	4	333.050 5	21.09**	<0.000 1
		组合内无性系间	176	145.764 2	9.23**	<0.000 1
		重复间	2	13.184 4	0.83 ^{NS}	0.434 1
		误差	1 559	15.790 1		
每穗最长根长	组合间	4	243.529 1	11.41**	<0.000 1	
	组合内无性系间	176	124.982 1	5.85**	<0.000 1	
	重复间	2	52.086 2	2.44 ^{NS}	0.087 5	
	误差	1 557	21.347 6			
生根率	组合间	4	0.260 5	77.88**	<0.000 1	
	组合内无性系间	176	0.142 6	42.65**	<0.000 1	
	重复间	2	0.001 8	0.55 ^{NS}	0.576 5	
	误差	274	0.003 3			
树高	组合间	4	3.979 6	1.35 ^{NS}	0.251 0	
	组合内无性系间	157	21.894 3	7.41**	<0.000 1	
	重复间	2	3.031 9	1.03 ^{NS}	0.358 9	
	误差	652	2.954 2			
生长性状	胸径	组合间	4	2.446 5	0.93 ^{NS}	0.443 9
		组合内无性系间	157	23.688 7	9.04**	<0.000 1
		重复间	2	4.298 3	1.64 ^{NS}	0.172 6
		误差	663	2.620 9		
单株材积	组合间	4	0.000 5	1.72 ^{NS}	0.143 7	
	组合内无性系间	157	0.001 9	6.20**	<0.000 1	
	重复间	2	0.000 3	0.99 ^{NS}	0.396 4	
	误差	652	0.000 3			

注: **表示 0.01 显著水平; NS 不显著,下同。

杂种组合内无性系间扦插生根和生长性状的差异极显著,表明杂种组合内进行无性系选择具有较大潜力;同时,这也表明杂种组合内不同子代(无性系)间在扦插生根和生长性状上分化大,不能以“品种”的概念来描述一个杂种。本研究中,杂种组合间在生长性状上差异不显著,这与直接利用实生苗进行的杂种比较试验的结论有异^[18,20],这可能因为本研究利用的 5 个杂种组合在前期杂种试验中生长均不错,差异不太大;也可能与参试杂种组合的亲本数量少,有的亲本为两个杂种组合共有有关,或与组合间无性系数数量相差过于悬殊、无性系少的组合代表性差有关;但在扦插生根性状上,杂种组合间差异极显著,这表明扦插生根性状与生长性状的遗传控制机理可能不同。

2 2 无性系扦插生根性状和 46 个月生生长性状的方差分量及广义遗传力

扦插生根性状和 46 个月生生长性状中无性系的方差分量见表 3。无性系方差分量较大,均达 0.01 显著水平。除生根率外,各性状的广义遗传力(表 4)介于 0.32(每穗最长根长)~0.63(胸径),表明这些性状受中等偏高程度的遗传控制。生根率的广义遗传力达 0.94,表明生根率受极强的遗传控制。对生长性状,广义遗传力为 0.51~0.63,这比巨桉无性系多点试验估算的广义遗传力(0.22~0.41)高^[13],但与韦塔桉(*E. wetarensis* Pryor)种源试验估算的 3.5 年生生长性状的单株遗传力非常接近(0.57~0.63)^[18]。

表 3 扦插生根性状和 46 个月生生长性状中无性系的方差分量

来源	扦插生根性状方差分量						46 个月生生长性状方差分量					
	每穗根数		每穗最长根长		生根率		树高		胸径		单株材积	
	df	²	df	²	df	²	df	²	df	²	df	²
无性系	180	11.828 2**	180	10.045 5**	180	0.049 5**	161	4.534 1**	161	4.758 4**	161	0.000 354**
误差	1 561	14.643 5	1 559	21.708 2	276	0.003 3	654	3.027 0	665	2.807 7	654	0.000 335

注: ** 0.01 显著水平。

表 4 无性系扦插生根性状及 46 个月生生长性状的广义遗传力

项目	扦插生根性状			46 个月生生长性状		
	每穗根数	每穗最长根长	生根率	树高	胸径	单株材积
H ²	0.45	0.32	0.94	0.60	0.63	0.51

2 3 无性系扦插生根性状与 46 个月生生长性状的表型相关及生长性状的年年相关

对无性系扦插生根性状与 46 个月生生长性状间的简单相关分析(表 5)表明:扦插生根性状与生长性状相关不显著,但扦插生根性状间或生长性状间相关均达 0.01 显著水平,这表明扦插生根性状与生长性状的遗传控制机理可能不同。

表 5 无性系扦插生根性状与生长性状间的表型相关系数

性状	46 个月生 平均胸径	46 个月生时平 均单株材积	平均 生根率	平均每穗 根数	平均最长 根长
46 个月生平均树高	0.921 1**	0.943 4**	-0.211 2 ^{NS}	0.034 6 ^{NS}	-0.091 2 ^{NS}
46 个月生平均胸径		0.938 6**	-0.146 3 ^{NS}	0.022 4 ^{NS}	-0.051 4 ^{NS}
46 个月生平均单株材积			-0.185 3 ^{NS}	0.056 2 ^{NS}	-0.040 1 ^{NS}
平均生根率				0.349 2**	0.405 5**
平均每穗根数					0.583 1**

对无性系树高、胸径和单株材积的年年相关分析(表 6)表明:无性系生长在 13、18、46 个月间的相关均达极显著水平($p < 0.01$),这表明在较早生长期进行无性系选择具有一定的可行性。

表 6 无性系生长在 13、18、46 个月之间的年年相关分析

相关年龄	生长性状		
	树高	胸径	单株材积
13~18 月	0.913 2**	0.913 4**	0.906 6**
13~46 月	0.711 2**	0.791 2**	0.710 4**
18~46 月	0.765 8**	0.892 3**	0.832 6**

2.4 优良无性系的选择

桉树无性系营林中,扦插生根率和材积是最重要的 2 个性状,因此优良无性系的评选主要是针对这 2 个性状。对于扦插生根率,入选标准为 40% 以上;对于平均单株材积,利用 LSD 法 ($\alpha=0.05$)对无性系进行多重比较分析(未列表),选择与最好的无

性系无显著差异的无性系。共选出 24 个尾细桉杂种无性系,均来自杂种组合 1,目前这 24 个无性系正进行组培,拟进行多地点的中试试验。选择的杂种无性系的扦插生根率和 46 个月生的平均单株材积见表 7。

表 7 中选尾细桉杂种无性系的扦插生根率和 46 个月生平均单株材积

序号	无性系	扦插生根率 /%	46 个月生平均单株材积		序号	无性系	扦插生根率 /%	46 个月生平均单株材积	
			$\bar{V} \pm SE/m^3$	CV/%				$\bar{V} \pm SE/m^3$	CV/%
1	1-060	63.33	0.086 9 ± 0.023 4	26.93	13	1-172	53.33	0.071 1 ± 0.021 4	30.10
2	1-140	90.00	0.086 3 ± 0.019 5	22.55	14	1-055	93.33	0.070 5 ± 0.023 4	33.20
3	1-211	56.67	0.083 4 ± 0.032 7	39.21	15	1-059	83.33	0.069 4 ± 0.017 5	25.15
4	1-021	43.33	0.083 3 ± 0.011 6	13.87	16	1-165	50.00	0.068 9 ± 0.020 0	29.05
5	1-082	60.00	0.081 0 ± 0.011 8	14.61	17	1-038	66.67	0.067 9 ± 0.023 8	35.02
6	1-159	56.67	0.079 0 ± 0.018 7	23.70	18	1-065	93.33	0.067 7 ± 0.030 0	44.29
7	1-146	96.67	0.077 2 ± 0.025 4	32.82	19	1-098	73.33	0.067 4 ± 0.017 8	26.45
8	1-014	43.33	0.077 1 ± 0.017 7	22.94	20	1-011	86.67	0.064 9 ± 0.023 2	35.75
9	1-006	50.00	0.077 0 ± 0.018 6	24.16	21	1-002	66.67	0.063 2 ± 0.043 3	68.55
10	1-058	90.00	0.074 4 ± 0.018 4	24.75	22	1-161	53.33	0.061 7 ± 0.041 3	66.95
11	1-097	60.00	0.073 2 ± 0.022 4	30.57	23	1-094	40.00	0.059 7 ± 0.010 5	17.61
12	1-167	56.67	0.071 8 ± 0.030 7	42.72	24	1-118	46.67	0.059 2 ± 0.016 5	27.94

注:SE 为标准差, CV 为变异系数。

从表 7 可以看出:中选无性系平均单株材积的变异系数相差较大,为 13.87% (第 4 号无性系) ~ 68.55% (第 21 号无性系),这一方面表明无性系内分株间仍存在生长差异,这可能与母株的年龄效应、位置效应和立地环境条件等 C 效应因子有关;另一方面也表明不同无性系对环境的敏感程度不同,生长上变异系数较大的无性系对不同小区的细微环境变化非常敏感,即与环境的互作强,这与巨桉无性系内分株间在材性和制浆性能以及生长和木材密度等性状上存在显著差异的报道一致^[4,13]。一般认为,杂种优势对环境的依赖性强^[15],如基因型与环境的互作在巨桉 × 赤桉、细叶桉 × 斑皮桉 (*E. maculata* Hook) 杂种无性系的材性^[22]以及巨桉 × 柳桉 (*E. saligna* Smith) 和巨桉 × 赤桉的生长上^[21]均较强。因此,在无性系试验(包括中试)中,有必要进行多点试验。

林木杂交育种中,目前对杂种优势的利用主要有两种途径:一是有性利用,即利用杂种优势好的亲本建立人工控制授粉的杂交种子园,这在澳大利亚和新西兰的杂交松育种中非常成功;二是无性利用,即利用优良的杂种单株培育无性系。对桉树而言,主要以第二种方式利用杂种优势,并且这可能是桉树杂种优势利用的最好方式^[23]。对我国桉树杂交

育种而言,杂交制种后直接进行育苗、扦插和无性系试验是一条快捷有效的育种途径。

参考文献:

- [1] Hill K D, Johnson L A S. Systematic studies in the eucalypts-7. A revision of the bloodwoods, genus *Corymbia* (Myrtaceae) [J]. *Telopea*, 1995, 6(2-3): 185~204
- [2] Eldridge K, Davidson J, Harwood C, van Wyk G. *Eucalypt Domestication and Breeding* [M]. New York: Oxford Science Publications, 1993: 207~208
- [3] 吴坤明, 吴菊英, 甘四明. 桉树杂交育种及杂种优势的利用简介 [J]. *广东林业科技*, 2001, 17(4): 10~15
- [4] Clarke C R E. Are *Eucalyptus* clones advantageous for the pulp mill? [J]. *South African Forestry Journal*, 2001 (190): 61~65
- [5] Pinyopusarek K, Doran J C, Williams E R, et al. Variation in growth of *Eucalyptus camaldulensis* provenances in Thailand [J]. *Forest Ecology and Management*, 1996, 87(1): 63~73
- [6] MacDonald A C, Borralho N M G, Potts B M. Genetic variation for growth and wood density in *Eucalyptus globulus* ssp. *globulus* in Tasmania (Australia) [J]. *Silvae Genetica*, 1997, 46(4): 236~241
- [7] Wei X, Borralho N M G. Genetic control of growth traits of *Eucalyptus unophylla* S. T. Blake in South East China [J]. *Silvae Genetica*, 1998, 47(2/3): 158~165
- [8] 陆钊华, 徐建民, 卢国桓, 等. 韦塔桉种源性状综合评价及育种值的估算 [J]. *林业科学研究*, 2004, 17(2): 220~225
- [9] Griffin A R, Cotterill P P. Genetic variation in growth of outcrossed, selfed and open-pollinated progenies of *Eucalyptus regnans* and some

- implications for breeding strategy [J]. *Silvae Genetica*, 1988, 37 (3/4): 124 ~ 131
- [10] Hodge GR, Volker PW, Potts BM, et al. A comparison of genetic information from open-pollinated and control-pollinated progeny tests in two eucalypt species [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 1996, 92(1): 53 ~ 63
- [11] Bouvet JM, Vigeneron P. Age trends in variances and heritabilities in *Eucalyptus* factorial mating designs [J]. *Silvae Genetica*, 1995, 44(4): 206 ~ 216
- [12] Bouvet JM, Vigeneron P. Variance structure in *Eucalyptus* hybrid populations [J]. *Silvae Genetica*, 1996, 45(2/3): 171 ~ 177
- [13] Osorio L F, White T L, Huber D A. Age trends of heritabilities and genotype-by-environment interactions for growth traits and wood density from clonal trials of *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden [J]. *Silvae Genetica*, 2001, 50(1): 30 ~ 37
- [14] Bouvet JM, Vigeneron P, Saya R A, et al. Early selection of *Eucalyptus* clones in retrospective nursery test using growth, morphological and dry matter criteria, in Republic of Congo [J]. *Southern African Forestry journal*, 2004(200): 5 ~ 17
- [15] Potts B M, Dungey H S. Interspecific hybridization of *Eucalyptus*: key issues for breeders and geneticists [J]. *New Forests*, 2004, 27(2): 115 ~ 138
- [16] 申文辉. 东门桉树人工杂交育种研究 [J]. *桉树科技*, 2000(1): 34 ~ 39
- [17] 莫晓勇. 雷州林业局桉树无性系良种繁育展望 [J]. *桉树科技*, 1996(1): 8 ~ 12
- [18] 吴坤明, 吴菊英, 徐建民, 等. 桉树杂交种间杂种优势和优良杂种的评选 [J]. *广东林业科技*, 1996, 12(2): 1 ~ 5
- [19] SAS Institute Co. SAS/STAT User's Guide for Personal Computers Release 6.03 edition [M]. Cary, NC, USA, 1988
- [20] 吴坤明, 吴菊英, 甘四明, 等. 桉树种间杂种的比较和选择研究 [J]. *林业科学研究*, 2002, 15(1): 1 ~ 6
- [21] Malan F S, Verryn S D. Effect of genotype-by-environment interaction on the wood properties and qualities of four-year-old *Eucalyptus grandis* and *E. grandis* hybrids [J]. *South African Forestry Journal*, 1996(176): 47 ~ 53.
- [22] Gwaze D P, Bridgwater F E, Lowe W J. Performance of interspecific F₁ eucalypt hybrids in Zimbabwe [J]. *Forest Genetics*, 2000, 7(4): 295 ~ 303
- [23] Danusevicius D, Lindgren D. Clonal testing may be the best approach to long-term breeding of *Eucalyptus* [A]. In: *Eucalyptus Plantations Research, Management and Development* [C]. Wei R-P, Xu D. World Scientific, Singapore, 2003: 192 ~ 210