

广西24个桉树无性系生长性状遗传参数估算*

张磊 陆珍先 傅明健 王建忠 蒋兴成 赵英伟

(广西国有东门林场, 广西 扶绥 532108)

摘要 为研究桉树 24 个无性系的遗传变异, 筛选适合广西地区生长的优良无性系, 以 24 份桉树无性系为研究材料, 逐年测量树高、胸径, 计算其材积, 并对该生长性状进行方差分析和遗传参数估算, 采用多性状基因型值筛选优良无性系。结果表明, 桉树的生长性状树高和胸径在无性系间存在显著差异, 且生长性状的变异系数逐年递增; 桉树生长性状遗传方差分量在区组间的差异达到了显著或极显著的水平, 方差分量介于 0.01~4.35 之间, 环境方差分量介于 0.03~10.82 之间, 重复力介于 0.02~0.42 之间; 树高和胸径存在较强的遗传正相关, 遗传和表型相关都达到中等及较高的水平 (相关系数为 0.40~0.98), 且相同年龄的树高和胸径间相关性较大。根据不同林龄预测的树高和胸径基因型值, 结合树高和胸径的生长表现, 筛选出优良无性系 C17、C8、C6 和 C2。桉树无性系间生长差异极显著, 且具有较强的遗传稳定性, 入选的 4 个优良无性系可作为后续桉树遗传改良和良种选育的基础。

关键词 桉树; 方差分析; 相关性; 遗传增益; 无性系

中图分类号: S722.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 2096-2053 (2022) 01-0087-08

Estimation of Genetic Parameters for Growth Traits of 24 *Eucalyptus* Clones in Guangxi

ZHANG Lei LU Zhenxian FU Mingjian WANG Jianzhong
JIANG Xingcheng ZHAO Yingwei

(Dongmen State Forestry Farm of Guangxi Zhuang, Fusui, Guangxi 532108, China)

Abstract The aim of this study was to select excellent clones suitable for growth in Guangxi province by analyzing the genetic variation of 24 *Eucalyptus* clones. The tree height and diameter at breast height (DBH) of the 24 *Eucalyptus* clones were measured year by year after afforestation. The volume was calculated based on tree height and DBH. The variance analysis and genetic parameter of the growth traits were estimated. Multi-character genotype values were used to screen excellent clones. The height and DBH of *Eucalyptus* were significantly different among clones, and the coefficient of variation of growth traits increased year by year. The genetic variance components of *Eucalyptus* growth traits had reached significant or extremely significant differences between the blocks. The variance components were between 0.01 and 4.35, and the environmental variance components were between 0.03 and 10.82. The repeatability was between 0.02 and 0.42. There was a strong positive genetic correlation between tree height and DBH, and both genetic and phenotypic correlations reach a medium or high level (correlation coefficient was 0.40-0.98). And the correlation between tree height and DBH in the same age was relatively large. According to the predicted tree height and DBH genetic values of different

基金项目: 中央财政林业科技推广示范项目 (【2018】TG09 号)。

第一作者: 张磊 (1988—), 男, 高级工程师, 主要从事桉树林木良种繁育及栽培技术研究, E-mail: 568729207@qq.com。

通信作者: 陆珍先 (1970—), 女, 高级政工师, 主要从事桉树林木良种繁育及栽培技术研究, E-mail: 1127216713@qq.com。

ages, combined with the growth performance of tree height and DBH, excellent clones C17, C8, C6 and C2 were screened out. The growth differences among the tested *Eucalyptus* clones are extremely significant and has strong genetic stability. The selected 4 excellent clones could be used as the basis for subsequent *Eucalyptus* genetic improvement and breeding.

Key words *Eucalyptus* ; variance analysis; genetic gain; clone

桉树是桃金娘科桉属植物，主要天然分布在澳大利亚，印度尼西亚、巴布亚新几内亚、菲律宾等地也有零星分布^[1]。我国自 1890 年开始引种桉树，至今已有 130 年历史，桉树现已成为我国南方地区重要的速生用材林树种，种植面积超过 580 万 hm²，年产木材超过 5 000 万 m³，占全国木材产量的三分之一，具有重要的经济、生态与社会效益^[2]。

前人对桉树无性系的选育研究较多，莫晓勇等^[3]对 27 个 3 年生桉树优良无性系的树高、胸径、单株叶量、树皮厚度和木材密度进行分析，选育出 3 个在广东省雷州半岛地区表现较好的无性系。王家妍等^[4]对 16 个桉树无性系的生长和抗风性进行方差分析，获得 5 个在广西地区表现较好的无性系。农锦德等^[5]对 13 个桉树无性系在桂西地区的生长表现进行研究，选育出适合桂西地区的桉树无性系 3 个。周家维等^[6]对 174 个桉树无性系的树高、胸径、材积等生长性状进行研究，初选出 6 个适合黔西南地区的优良尾细桉杂种无性系。李宝琦等^[7-8]对 20 个 5 年生桉树无性系进行筛选，以生产指标、形质指标、材性指标初选

出 5 个适宜做桉树大径材的无性系。但主要通过表型值进行筛选，仅仅依赖表型值对优良无性系进行筛选存在较大的误差。为提高选择精度，本研究以 2011 年在广西地区种植的桉树优良无性系为对象，通过对连年树高、胸径和材积指标的分析，结合无性系的基因型值对林木优树进行选择，初步确定参试无性系在该地区的稳定性和生长潜力，为该地区优良桉树推广提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于广西国有东门林场雷卡分场 9 林班。试验地气候属亚热带大陆性季风气候，全年光热充足，年均气温 21.2~22.3℃，极端最高温 41℃，极端最低温 -4℃，年无霜期 346 d，年降雨量 1 000~1 300 mm，相对湿度 74%~83%，海拔 100~200 m，相对高度在 10~100 m。属丘陵台地，坡度小于 5°。土壤为东门地区典型的砖红壤性红壤，pH 值 4.5~6.0，质地为壤土至轻粘土。试验林地备耕前种植的是桉树林。

表 1 24 个桉树无性系亲本信息
Table 1 Parental information of 24 *Eucalyptus* superior clones

无性系号 Clone number	母本 Female parent	父本 Male parent	无性系号 Clone number	母本 Female parent	父本 Male parent
C1	U16	G46	C13	G89	UM
C2	U134	C	C14	U16	G46
C3	U73	G1	C15	U16	G22
C4	U16	G46	C16	纯种尾叶桉	纯种尾叶桉
C5	U160	GM	C17	U16	G46
C6	U16	G46	C18	U15	OP
C7	G17	U2	C19	U2	G12
C8	U48	C	C20	G46	T31
C9	U73	G1	C21	U16	G22
C10	U16	G46	C22	U2	G12
C11	纯种尾叶桉	纯种尾叶桉	C23	U16	G46
C12	U16	G46	C24	U2	G12

1.2 试验材料与设计

试验林建于2011年5月,选择历年东门无性系测定中表现优良的23个无性系(表1),以1个目前生产育苗和造林的良种DH32-28(C10)作对照。试验采用随机完全区组设计,10株行式小区,4次重复,株行距4 m×2 m。造林前每穴施NPK含量25%的桉树专用基肥0.5 kg·株⁻¹;当年7月除草并追施NPK含量30%的桉树专用追肥0.5 kg·株⁻¹;第二、三年每年带状抚育,同时施NPK含量30%的桉树专用肥0.5 kg·株⁻¹。

1.3 统计分析

2011年5月造林,2011年12月进行当年生试验林调查,此后每年多集中于11月至12月对林地进行调查,调查内容包括树高和胸径,造林8年后调查保存率。材积依照广西林业勘察设计院编制的桉树立木蓄积公式进行计算^[9]:

$$V = C_0 \times D^{C_1 C_2(D+H)} \times H^{C_3 C_4(D+H)}$$

式中: V 表示材积, D 表示胸径, H 表示树高, 模型参数值:

$$C_0 = 1.091\ 541\ 45 \times 10^{-4}$$

$$C_1 = 1.878\ 923\ 70$$

$$C_2 = 5.691\ 855\ 03 \times 10^{-3}$$

$$C_3 = 0.652\ 598\ 05$$

$$C_4 = 7.847\ 535\ 07 \times 10^{-3}$$

利用R软件对树高、胸径和材积进行方差分析和多重比较,采用ASReml 4.0软件对桉树无性系试验林的树高、胸径和材积性状进行遗传参数

估算,遗传参数主要包括表型变异系数、遗传和环境方差分量、重复力、遗传和表型相关等。

试验林最佳混合线性模型如下:

$$Y_{ijk} = u + B_i + C_j + e_{ijk},$$

其中, Y_{ijk} 表示试验地第 i 个区组内第 j 个无性系的第 k 个(树高和胸径)单株观测值, u 为总体平均值, B_i 表示第 i 个区组 ($i=1, \dots, 6$) 的固定效应, C_j 表示第 j 个无性系的随机效应, e_{ijk} 表示随机误差。每个无性系不同性状的基因型值和遗传增益估算采用续九如^[10]和刘天颐^[11]报道中的公式。

2 结果与分析

2.1 桉树无性系生长性状年度变化趋势

图1结果显示,24个无性系树高在1年生时差异不大,介于1.00~1.72 m,从第2年开始各个无性系之间差异逐渐变大,第8年时各无性系树高差异最大(12.08~21.96 m),说明参试各桉树无性系生长趋势随年龄增长而出现分化。1年生时,无性系C2, C11及C22树高最高,分别为1.72, 1.70和1.66 m,说明这3个无性系能更快地适应环境。而从第2年开始,无性系C11及C22的树高生长明显弱于其他无性系,而无性系C6表现出较高的树高生长量,直至第8年,均排名前3。无性系C17、C8在前三年未表现出较高的生长优势,而从第4年开始,树高增长加速,说明这些无性系具有较大的生长潜力。

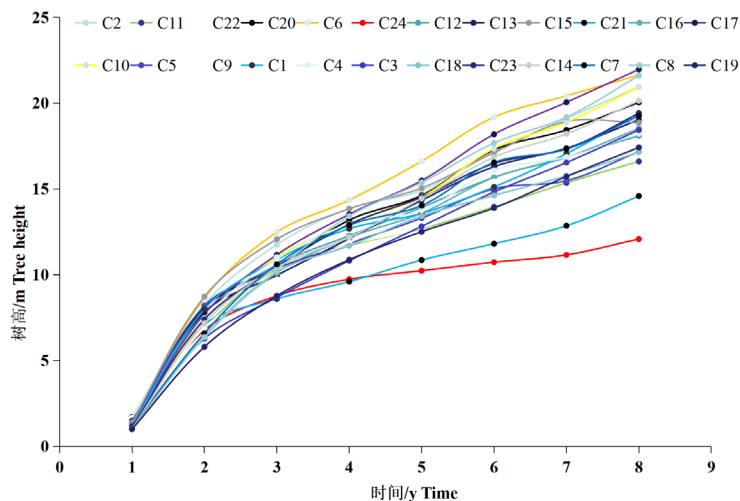


图1 桉树各个无性系1年生至8年生平均树高生长曲线

Fig. 1 The growth curve of the 1-year-old to 8-year-old average tree height of each clone of *Eucalyptus*

图2结果显示, 24个无性系在2年生时平均胸径为5.38 cm, 变异系数为0.55。从第3年开始各个无性系变化较大, 胸径增长趋势随年龄增长而出现较大变异。无性系C17, C6和C10的胸径生长量均排前列, 说明这些无性系各年份在田间的表现均较好, 可作为候选优良无性系进行进一步验证。无性系C8的胸径在前4年均表现中等, 第5年胸径增长量最大, 之后两年胸径增长量与其他无性系相比差异不大, 而第8年, 胸径增长量排第3, 总量排第2, 说明该无性系具有较大的生长潜力。

2.2 生长性状方差分析及重复力估算

表2结果表明, 从第5年开始, 胸径和材积在区组间的差异达到了显著或极显著的水平。方差分量结果表明, 除个别年份外, 树高、胸径和材积在不同年份的遗传和环境方差都达到了显著或极显著水平, 遗传方差分量分别介于0.04~4.35, 0.23~3.20和0.01~0.28之间, 环境方差分量分别介于0.19~7.43, 4.93~10.82和0.03~0.50之间, 单株重复力介于0.08~0.42, 0.02~0.35和0.19~0.36之间, 无性系生长性状的遗传稳定性较高。从试验地的方差分量结果来看, 表型性状的遗传和环境方差均随树龄的增长而增加。

2.3 桉树无性系不同性状相关性分析

总体上, 试验林内不同年龄桉树的树高和胸径之间均存在较强的正表型相关(表3), 且相同年龄内的树高和胸径间表型相关系数较大, 除第2

年以外(0.22), 其余年份表型相关介于0.78~0.91之间。树高和胸径之间均存在较强的正遗传相关(表4), 遗传相关系数均介于0.90~0.96之间, 且所有性状的表型和遗传方差都达到了显著或极显著的水平, 表明生长性状受到较强的遗传效应控制, 具有较高的遗传稳定性。

图3结果显示, 1年生树高与8年生树高的遗传相关系数为负值, 表明树高在早期受环境影响较大。树高和胸径的连年遗传相关系数总体随着林分年龄的增加而增大, 树高连年遗传相关在林分第3年时表现出极强的相关, 相关系数介于0.83~0.99, 胸径连年遗传相关在林分第3年时表现出极强的相关, 相关系数介于0.86~0.99。从第3年开始, 两个性状的连年相关性曲线基本重合, 说明树高和胸径之间具有很强的相关性。因此, 从第3年开始, 可以通过胸径对无性系进行选择。

2.4 优良无性系选择

为了研究各个无性系的适生性, 对其8年后的林木保存率进行了分析(表5)。结果显示, 保存率最高的为无性系C10和C15, 均为0.8。其次为C22, 保存率为0.775。值得注意的是个别无性系的保存率在不同重复间存在很大的差异。例如, C20在重复2和重复3的保存率分别为0.8和1, 而在重复1和重复4的保存率分别仅为0.3和0.2。其次为C8, 在重复1的保存率为0.1, 而在重复3的保存率可达0.9。

以基因型选择代替表型选择, 在林木遗传改

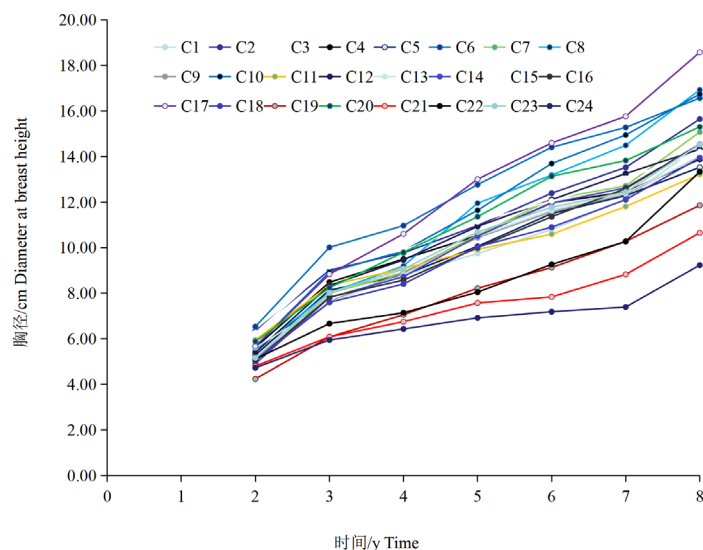


图2 桉树各个无性系2年生至8年生平均胸径生长曲线

Fig. 2 The growth curve of average diameter at breast height of *Eucalyptus* clones from 2-year-old to 8-year-old

表 2 不同桉树无性系生长性状遗传参数估算
Table 2 Estimation of genetic parameters for growth traits of different *Eucalyptus* clones

性状 Trait	方差分析	方差分量 Variance components		
	区组 Block	无性系 Clone	环境 Environment	重复力 ± 标准差 Repeatability ± Standard error
树高 1 ht1	2.57*	0.04**	0.19***	0.15 ± 0.04
树高 2 ht2	0.40 ns	0.61**	7.43***	0.08 ± 0.02
树高 3 ht3	7.43***	0.82**	4.55***	0.15 ± 0.04
树高 4 ht4	0.22 ns	1.26**	5.83***	0.18 ± 0.05
树高 5 ht5	1.78 ns	1.81***	4.22***	0.30 ± 0.06
树高 6 ht6	3.50**	3.34***	6.79***	0.33 ± 0.07
树高 7 ht7	2.92*	3.99***	6.77***	0.37 ± 0.07
树高 8 ht8	2.91*	4.35***	6.11***	0.42 ± 0.08
胸径 2 dbh2	1.23 ns	0.23 ns	10.82***	0.02 ± 0.01
胸径 3 dbh3	0.49 ns	0.83**	4.93***	0.15 ± 0.04
胸径 4 dbh4	0.62 ns	1.11**	5.31***	0.17 ± 0.05
胸径 5 dbh5	2.75*	1.98***	5.57***	0.26 ± 0.06
胸径 6 dbh6	5.13**	2.90***	7.18***	0.29 ± 0.06
胸径 7 dbh7	7.87***	3.06***	6.59***	0.32 ± 0.07
胸径 8 dbh8	8.20***	3.20***	6.07***	0.35 ± 0.07
材积 3 v3	1.65 ns	0.01**	0.03***	0.19 ± 0.05
材积 4 v4	0.71 ns	0.02***	0.06***	0.22 ± 0.05
材积 5 v5	3.18*	0.05***	0.10***	0.30 ± 0.06
材积 6 v6	5.54***	0.10**	0.23***	0.32 ± 0.07
材积 7 v7	5.95***	0.16**	0.33***	0.33 ± 0.07
材积 8 v8	5.54***	0.28***	0.50***	0.36 ± 0.07

注：1) ht1~ht8 分别表示 1 年生至 8 年生的树高，dbh2~dbh8 分别表示 2 年生至 8 年生的胸径；v3-v8 分别表示 3 年生至 8 年生的材积；“*” “**” “***” 分别表示 *F* 检验在 5%、1% 和 1%。水平上差异显著。2) 该列数据为平均值 ± 标准误。
Note: 1) ht1~ht8 represent the tree height of one-year-old to eight-year-old respectively, dbh2~dbh8 represent diameter at breast height of two-year-old to eight-year-old respectively and v3~v8 represent volume of three-year-old to eight-year-old respectively; “*” “**” “***” stand that Wald *F* statistics were the significant differences at 5%, 1% and 1%。 level, respectively. 2) The data in this column were means ± standard errors.

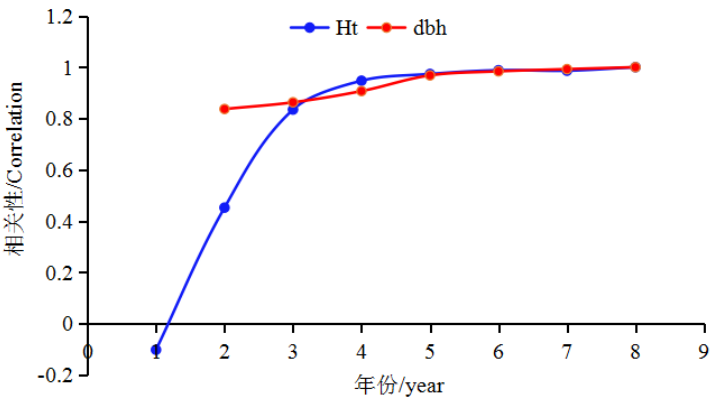


图 3 24 个桉树无性系树高和胸径年年遗传相关
Fig. 3 Age-age genetic correlations for height and diameter at breast height of 24 *Eucalyptus* clones

表 3 桉树不同年龄的树高和胸径表型相关系数和标准差

Table 3 Phenotypic correlation coefficient between height and diameter at breast height for different years at different test fields of *Eucalyptus*

性状 Trait	树高 1 Height1	树高 2 Height2	树高 3 Height3	树高 4 Height4	树高 5 Height5	树高 6 Height6	树高 7 Height7	树高 8 Height8
胸径 2 dbh2	0.37 ± 0.03	0.22 ± 0.03	0.39 ± 0.03	0.34 ± 0.03	0.27 ± 0.03	0.24 ± 0.03	0.28 ± 0.03	0.16 ± 0.04
胸径 3 dbh3	0.54 ± 0.04	0.47 ± 0.03	0.91 ± 0.01	0.89 ± 0.01	0.92 ± 0.01	0.93 ± 0.01	0.91 ± 0.01	0.85 ± 0.01
胸径 4 dbh4	0.50 ± 0.04	0.41 ± 0.03	0.91 ± 0.01	0.88 ± 0.01	0.92 ± 0.01	0.93 ± 0.01	0.92 ± 0.01	0.85 ± 0.01
胸径 5 dbh5	0.41 ± 0.05	0.27 ± 0.04	0.89 ± 0.01	0.86 ± 0.01	0.91 ± 0.01	0.93 ± 0.01	0.92 ± 0.01	0.85 ± 0.01
胸径 6 dbh6	0.37 ± 0.06	0.23 ± 0.04	0.87 ± 0.01	0.84 ± 0.01	0.89 ± 0.01	0.91 ± 0.01	0.90 ± 0.01	0.85 ± 0.01
胸径 7 dbh7	0.33 ± 0.06	0.84 ± 0.01	0.86 ± 0.01	0.83 ± 0.01	0.89 ± 0.01	0.91 ± 0.01	0.89 ± 0.01	0.83 ± 0.02
胸径 8 dbh8	0.29 ± 0.06	0.83 ± 0.02	0.82 ± 0.02	0.77 ± 0.02	0.87 ± 0.016	0.89 ± 0.01	0.85 ± 0.01	0.78 ± 0.02

表 4 桉树不同年龄的树高和胸径遗传相关系数和标准差

Table 4 Genetic correlation coefficient and standard error between height and diameter at breast height for different years at different test fields of *Eucalyptus*

性状 Trait	树高 1 Height1	树高 2 Height2	树高 3 Height3	树高 4 Height4	树高 5 Height5	树高 6 Height6	树高 7 Height7	树高 8 Height8
胸径 2 dbh2	0.36 ± 0.31	0.96 ± 0.21	0.99 ± 0.17	0.91 ± 0.20	0.80 ± 0.23	0.81 ± 0.23	0.85 ± 0.22	0.81 ± 0.24
胸径 3 dbh3	0.13 ± 0.24	0.59 ± 0.17	0.91 ± 0.04	0.90 ± 0.05	0.90 ± 0.04	0.89 ± 0.04	0.88 ± 0.05	0.82 ± 0.07
胸径 4 dbh4	0.01 ± 0.24	0.52 ± 0.19	0.91 ± 0.04	0.90 ± 0.04	0.91 ± 0.03	0.92 ± 0.03	0.90 ± 0.04	0.87 ± 0.05
胸径 5 dbh5	0.18 ± 0.23	0.33 ± 0.23	0.86 ± 0.06	0.90 ± 0.04	0.93 ± 0.03	0.95 ± 0.02	0.94 ± 0.02	0.92 ± 0.03
胸径 6 dbh6	0.19 ± 0.23	0.31 ± 0.23	0.84 ± 0.06	0.89 ± 0.04	0.93 ± 0.03	0.95 ± 0.02	0.94 ± 0.02	0.94 ± 0.02
胸径 7 dbh7	0.17 ± 0.23	0.44 ± 0.21	0.82 ± 0.07	0.89 ± 0.05	0.91 ± 0.03	0.94 ± 0.02	0.93 ± 0.02	0.94 ± 0.02
胸径 8 dbh8	0.16 ± 0.23	0.37 ± 0.22	0.77 ± 0.09	0.88 ± 0.05	0.90 ± 0.04	0.93 ± 0.02	0.92 ± 0.03	0.95 ± 0.02

良中尤其在高世代育种中将极大地提高选择的准确性。根据不同年龄预测的树高和胸径基因型值,结合树高、胸径和材积的生长表现,以广西广泛种植的优良无性系 DH32-28 为对照,选择出 4 个优良无性系 (C17、C8、C6 和 C2)。与对照相比,C17 和 C8 两个无性系 8 年生胸径的遗传增益分别为 3.47% 和 0.39%。C17、C8、C6 和 C24 等 4 个无性系树高的遗传增益分别为 2.07%, 1.30%, 1.48% 和 0.03%, 而树高的现实增益则分别为 4.94%、3.10%、3.52% 和 0.08%。基于混合线性模型对试验地内的树高和胸径性状进行了基因型值预测,结果见表 6。优良无性 C17 的 3 年生胸径基因型值与其他优良无性系相比较低,但随着树龄的增加,5 年生与 8 年生时生长表现较好,表明该无性系长势随年龄增加逐渐增强。优良无性系 C6 胸径基因型值在 3 年生时远高于其他优良无性系,但 5 年生时胸径基因型值及生长表现逐渐下降,表明该优良无性系长势随年龄增加逐渐减弱。

综合来看,优良无性系 C17、C8、C6 和 C2 在 8 年生时的预测基因型值和生长表现都较好,表明这些无性系可作为优良无性系用于后期推广示范。同时也表明,以尾叶桉为母本,以巨桉或赤桉为父本的杂交组合可能获得生长量更高的杂交子代。

3 讨论与结论

本研究 24 个桉树无性系 1 年生至 8 年生树高的平均值由 1.29 m 增至 18.72 m,标准差由 0.21 增至 2.24;胸径的平均值由 5.38 cm 增至 14.34 cm,变异系数由 0.55 增至 1.96,说明各个无性系树高和胸径的变异系数随着树龄的增长而增大。

桉树试验林的生长性状方差分析结果表明,从第 5 年开始,胸径和材积在区组间的差异达到了显著或极显著水平。方差分量结果显示,树高、胸径和材积在不同年份的遗传和环境方差都达到了显著或极显著水平,且表型性状的遗传和环境方差均随树龄的增长而增加。从第 4 年开始,树

表 5 桉树无性系保存率
Table 5 Preservation rate of *Eucalyptus* clones

无性系 Clones	重复 1 Replication 1	重复 2 Replication 2	重复 3 Replication 3	重复 4 Replication 4	平均值 Average ± Standard deviation
C10	0.6	0.9	0.9	0.8	0.80 ± 0.14
C20	0.3	0.8	1.0	0.2	0.58 ± 0.39
C8	0.1	0.7	0.9	0.5	0.55 ± 0.34
C21	0.3	0.9	0.9	0.8	0.73 ± 0.29
C1	0.4	0.8	0.8	1.0	0.75 ± 0.25
C15	0.5	0.8	1.0	0.9	0.80 ± 0.22
C5	0.8	0.5	1.0	0.6	0.73 ± 0.22
C6	0.9	0.4	0.5	0.5	0.58 ± 0.22
C19	0.3	0.8	0.4	0.6	0.53 ± 0.22
C18	0.6	0.2	0.2	0.5	0.38 ± 0.21
C2	0.7	0.5	0.9	0.9	0.75 ± 0.19
C4	0.5	0.8	0.6	0.9	0.70 ± 0.18
C14	0.7	0.4	0.5	0.8	0.60 ± 0.18
C17	0.5	0.5	0.8	0.8	0.65 ± 0.17
C24	0.7	0.8	0.7	0.4	0.65 ± 0.17
C22	0.7	1.0	0.7	0.7	0.78 ± 0.15
C11	0.8	0.5	0.7	0.8	0.70 ± 0.14
C9	0.4	0.4	0.7	0.5	0.50 ± 0.14
C16	0.7	0.6	0.9	0.8	0.75 ± 0.13
C3	0.4	0.4	0.6	0.3	0.43 ± 0.13
C23	0.8	0.8	0.6	0.6	0.70 ± 0.12
C12	0.6	0.8	0.7	0.7	0.70 ± 0.08
C13	0.6	0.5	0.6	0.7	0.60 ± 0.08
C7	0.6	0.5	0.6	0.5	0.55 ± 0.06

高、胸径和材积的重复力数值较高，表明生长性状受到较强的遗传效应控制，具有较高的遗传稳定性，该数据与前人报道的数据基本一致^[12-13]，再次证明了桉树无性系选育的有效性。

不同年龄桉树无性系的树高和胸径之间均存在较强的正表型相关和遗传相关，且相同年龄内的树高和胸径间遗传相关系数较大。孟蕊^[14]对 26 个巨桉无性系 2 年生生长指标的进行了相关性分析，发现树高、胸径和材积之间的相关性均高于 0.76。解懿妮等^[15]的研究结果显示，3 年生桉树无性系生长性状间的相关性均达到 0.86 以上。杨会肖等^[16]发现 2 年生以上的桉树无性系其性状间的表型相关和遗传相关均高于 0.52。本研究中，除第 2 年外，表型相关系数均高于 0.78，遗传相关均高于 0.90。其中 3~7 年的表型相关性系数均达到 0.88 以上，本结果与前人研究一致。因此，为缩短育种周期和加速育种进程，桉树优良无性

系可最早在 3 年生时选择，且可通过测量胸径性状即可满足对速生树种选择精度的要求。

本研究仅根据不同年龄的树高和胸径性状进行了初步分析选择，今后还需针对不同工业用途，对木材品质和形质性状进行测定和评价，以实现桉树优良无性系推广生产目标。

参考文献

[1] 陈少雄, 郑嘉琪, 刘学锋. 中国桉树培育技术百年发展史与展望[J]. 世界林业研究, 2018, 31(2): 7-12.
[2] 赵树丛. 在2020年全国桉树产业发展暨学术研讨会上的讲话[J]. 桉树科技, 2020(4): 21-23.
[3] 莫晓勇, 彭仕尧, 龙腾, 等. 雷州半岛桉树无性系选择及其早期综合评价[J]. 林业科学研究, 2003, 16(3): 293-298.
[4] 王家妍, 方小荣, 黄黎敏, 等. 16个桉树无性系生长和抗

表 6 桉树无性系生长性状和及其预测的基因型值

Table 6 Growth performance and predicted genotype values for growth traits of clones of *Eucalyptus*

无性系 Clone	生长表现 Phenotype		基因型值 Genotype value						现实增益 / % Reality gain		遗传增益 / % Genetic gain		重复率 Repetition rate
	dbh8	ht8	dbh3	dbh5	dbh8	v3	v5	v8	dbh8	ht8	dbh8	ht8	
C17	18.58	21.96	0.79	2.46	3.87	0.01	0.04	0.13	9.91	4.94	3.47	2.07	0.65 ± 0.17
C8	16.93	21.60	0.08	1.53	2.37	0.00	0.02	0.08	1.11	3.10	0.39	1.30	0.55 ± 0.34
C10	16.74	20.93	0.87	1.23	2.32	0.01	0.01	0.07	—	—	—	—	0.80 ± 0.14
C6	16.57	21.64	1.72	2.10	1.75	0.02	0.04	0.06	—	3.52	—	1.48	0.58 ± 0.22
C2	15.65	20.95	0.91	0.61	1.15	0.01	0.01	0.04	—	0.08	—	0.03	0.75 ± 0.19
C20	15.31	20.04	0.28	0.95	0.84	0.00	0.01	0.03	—	—	—	—	0.58 ± 0.39
C7	15.08	19.26	0.06	0.17	0.44	0.00	0.00	0.01	—	—	—	—	0.55 ± 0.06
C3	15.11	18.43	-0.72	-0.07	0.58	-0.01	0.00	0.01	—	—	—	—	0.43 ± 0.13
C14	14.54	20.14	-0.07	0.15	0.18	0.00	0.00	0.01	—	—	—	—	0.60 ± 0.18
C23	14.53	19.40	0.09	0.28	0.05	0.00	0.00	0.00	—	—	—	—	0.70 ± 0.12
C1	14.49	19.42	0.09	-0.48	0.10	0.00	-0.01	0.00	—	—	—	—	0.75 ± 0.25
C16	14.53	18.52	-0.08	-0.29	0.18	0.00	-0.01	0.00	—	—	—	—	0.75 ± 0.13
C13	13.97	19.03	-0.26	0.14	-0.22	0.00	0.00	-0.01	—	—	—	—	0.60 ± 0.08
C15	14.21	18.86	1.06	0.79	-0.02	0.01	0.01	-0.01	—	—	—	—	0.80 ± 0.22
C4	13.88	18.22	0.49	0.21	-0.44	0.00	0.00	-0.01	—	—	—	—	0.70 ± 0.18
C12	14.32	18.10	0.36	0.55	-0.01	0.00	0.00	-0.01	—	—	—	—	0.70 ± 0.08
C22	13.34	19.27	-1.07	-2.11	-0.74	-0.01	-0.03	-0.02	—	—	—	—	0.78 ± 0.15
C9	13.99	18.40	-0.23	0.13	-0.42	0.00	0.00	-0.02	—	—	—	—	0.50 ± 0.14
C18	13.95	17.15	-0.22	-0.30	-0.65	0.00	-0.01	-0.03	—	—	—	—	0.38 ± 0.21
C5	13.53	17.17	0.19	-0.25	-0.84	0.00	-0.01	-0.04	—	—	—	—	0.73 ± 0.22
C11	13.23	16.60	0.36	-0.38	-1.16	0.00	-0.01	-0.05	—	—	—	—	0.70 ± 0.14
C19	11.86	17.42	-1.50	-1.85	-2.10	-0.01	-0.02	-0.05	—	—	—	—	0.53 ± 0.22
C21	10.65	14.58	-1.57	-2.45	-3.03	-0.01	-0.03	-0.08	—	—	—	—	0.73 ± 0.29
C24	9.23	12.08	-1.63	-3.12	-4.20	-0.01	-0.04	-0.10	—	—	—	—	0.65 ± 0.17

注：仅列出优良无性系 8 年生的表性值及第 3 年，5 年与 8 年的基因型值。
Note:only phenotypes of tree height (ht) and diameter at breast height (dbh) of the excellent clones at 8-year-old and breeding values of volume (v) and dbh at 3, 5, and 8-year-old were listed.

风性比较[J].广西林业科学, 2019, 48(3): 296-300.

[5] 农锦德, 蔡林, 李梅艳, 等. 桂西桉树无性系对比试验[J]. 广西林业科学, 2017, 46(3): 284-288.

[6] 周家维, 李发根, 李梅, 等. 黔西南桉树无性系对比试验[J]. 西南林学院学报, 2009, 29(4): 23-25.

[7] 李宝琦, 徐建民, 李光友, 等. 桉树大径材无性系中期选择[J].安徽农业科学, 2009, 37(34): 17170-17174.

[8] 李宝琦. 桉树大径材良种中期选择与栽培试验研究[D]. 海口: 海南大学, 2010.

[9] 岑巨延. 广西桉树人工林二元立木材积动态模型研究[J]. 华南农业大学学报, 2007, 28(1): 91-95.

[10] 续九如. 重复力及其在树木育种中的应用[J]. 北京林业大学学报, 1988(4): 97-102.

[11] 刘天颐, 杨会肖, 刘纯鑫, 等. 火炬松基因资源的育种值预测与选择[J]. 林业科学, 2014, 50(8): 60-67.

[12] 吴世军, 陈广超, 徐建民, 等. 巨桉种源/家系多点遗传变异及选择比较[J]. 林业与环境科学, 2016, 32(6): 10-15.

[13] 卢国恒, 陆钊华, 徐建民, 等. 尾叶桉无性系生长比较研究[J]. 广西林业科学, 2004, 33(1): 42-44.

[14] 孟蕊. 巨桉无性系生长早期选择[J]. 广东林业科技, 2015, 31(3): 11-15.

[15] 解懿妮, 莫晓勇, 彭仕尧, 等. 粤西21个桉树无性系早期性状遗传变异分析和无性系综合选择[J]. 南京林业大学学报(自然科学版), 2018, 42(3): 73-80.

[16] 杨会肖, 廖焕琴, 杨晓慧, 等. 阳江地区尾叶桉早期生长性状遗传参数估算[J]. 华南农业大学学报, 2021, 42(1): 109-115.