

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.
YANG Huixiao, LIAO Huanqin, YANG Xiaohui, et al. Estimation for genetic parameters of early growth traits of *Eucalyptus urophylla* in Yangjiang[J]. Journal of South China Agricultural University, 2021, 42(1): 109-115.

阳江地区尾叶桉早期生长性状遗传参数估算

杨会肖, 廖焕琴, 杨晓慧, 徐 放, 张卫华, 陈新宇, 潘 文
(广东省森林培育与保护利用重点实验室/广东省林业科学研究院, 广东 广州 510520)

摘要:【目的】研究尾叶桉 *Eucalyptus urophylla* 无性系的遗传变异, 筛选适合阳江地区生长的优良无性系, 为新品系选育及推广应用提供科学依据。【方法】以 76 份尾叶桉无性系为研究材料, 在阳江地区分 3 次营建尾叶桉无性系测定林; 造林后逐年测量其树高和胸径, 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, 并估算入选优良无性系的遗传增益。【结果】尾叶桉的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减。除少数年份内的生长性状外, 尾叶桉生长性状方差分量在区组间的差异达到了显著或极显著的水平, 遗传方差分量介于 0.10~22.61 之间, 环境方差分量介于 0.18~45.86 之间, 重复力介于 0.10~0.42 之间。除 1 年生树高外, 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), 且相同林龄内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, 在所有林龄的无性系中, 无性系 ZQUB29、ZQUA34、ZQUC33、ZQUA15 和 ZQUA33 的表现都较好, 表明这些无性系可能在整个轮伐期长势都较稳定, 是优良无性系。【结论】参试尾叶桉无性系间生长差异极显著, 入选的 5 个优良无性系可作为后续尾叶桉遗传改良和良种选育的基础。

关键词: 尾叶桉; 方差分析; 遗传参数; 遗传增益; 无性系
中图分类号: S722.3 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-411X(2021)01-0109-07

Estimation for genetic parameters of early growth traits of *Eucalyptus urophylla* in Yangjiang

YANG Huixiao, LIAO Huanqin, YANG Xiaohui, XU Fang, ZHANG Weihua, CHEN Xinyu, PAN Wen
(Guangdong Provincial Key Laboratory of Silviculture, Protection and Utilization/
Guangdong Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China)

Abstract: 【Objective】To study the genetic variation of *Eucalyptus urophylla*, select excellent clones suitable for growing in Yangjiang, and provide a scientific basis for selection and promotion of new clones. 【Method】Totally 76 *E. urophylla* clones were used as materials, and the clonal test fields of *E. urophylla* were constructed in three times. After afforestation, tree height and diameter at breast height (DBH) were measured every year, and the phenotypic traits were analyzed by variance analysis and genetic parameter estimation. The multi-trait genotype value was used to screen excellent clones, and the genetic gain of excellent clones was also estimated. 【Result】Tree height and DBH of *E. urophylla* had significant differences among clones, and the variation coefficient of growth traits decreased year by year. Except for the traits of a few years, the variance component

of *E. urophylla* growth traits reached a significant or extremely significant level among blocks, with genetic variance components ranging from 0.10 to 22.61, environmental variance components ranging from 0.18 to 45.86, and repeatability ranging from 0.10 to 0.42, respectively. There was strong positive genetic correlation between tree height and DBH except for tree height of one-year-old tree. Both genetic and phenotypic correlations between tree height and DBH reached medium to high levels with the correlation coefficients ranging from 0.40 to 0.98. The correlations between tree height and DBH at the same tree age were large. Based on the predicted tree height and DBH genotype values at different ages with the growth performance, excellent clones of ZQUB29, ZQUA34, ZQUC33, ZQUA15 and ZQUA33 had higher growth genotype and phenotype values at all ages, indicating that these clones may be more stable throughout the rotation period and were excellent clones. 【Conclusion】 The growth differences among *E. urophylla* clones involved in the fields are extremely significant, and five excellent clones can be used as the basic materials for the subsequent genetic improvement of *E. urophylla* and the breeding of improved varieties.

Key words: *Eucalyptus urophylla*; variance analysis; genetic parameter; genetic gain; clone

尾叶桉 *Eucalyptus urophylla* 是桃金娘科 Myrtaceae 桉属 *Eucalyptus* 下的双蒴盖亚属 *Symphomyrtus* 横脉组 *Transversaria* 植物, 天然分布于印度尼西亚以及附近的 7 个岛屿^[1]。分布范围 7°30'~10°05' S, 110°40'~150°19'E, 海拔 9~3 000 m, 是海拔分布最广的树种^[2]。目前, 已有巴西、美国、中国、越南、印度、南非、刚果等 30 多个国家引种了尾叶桉^[3]。我国自 1985 年起, 已对尾叶桉 30 多个种源 750 个家系进行了引种与遗传改良研究, 取得了显著的成绩^[4-5]。

国内外对桉树不同种源、家系、无性系和杂交子代的遗传变异规律以及选择已有大量研究^[6-14]。齐杰等^[6]通过对亲本和子代的叶片形态进行研究, 揭示了杂交种亲本和子代间的遗传变异规律。Kien 等^[1]和 Quang 等^[7]对尾叶桉生长和干形性状的遗传控制规律以及木材成分与生长的关系进行了研究。Wu 等^[8]对尾叶桉杂种子代无性系的干形分枝特性、材质性状和生长性状的遗传变异规律进行了报道。陆钊华等^[9]开展桉树无性系的遗传变异分析, 并进行多性状综合选择研究, 制定了尾叶桉无性系短期育种计划与长期育种策略。崔之益等^[10]对广东、广西 6 个试验点的 10 个无性系的抗风性、抗病性进行了研究, 选择出一系列适宜当地生长的无性系。李光友等^[11]对福建南部山区的 36 个无性系进行选择, 发现 18 个无性系优于对照。解懿妮等^[12]对雷州半岛的 21 个桉树无性系生长、形态及抗风等性状进行研究, 初步选出生长、形态和抗风性能表现良好的桉树无性系。卢万鸿等^[13]对 15 个桉树新无性系在 5 种立地条件下的生长性状的基因型与环境互作效应进行了初步研究, 发现无性系、立地及无性系与立地互作水平均存在显著的差异。

桉树现已成为我国华南地区重要的速生树种, 在南方林木生长中占据了重要的位置, 种植面积超过 567 万 hm², 年产木材超过 3 000 万 m³, 占全国木材产量的 30%, 具有重要的经济、生态与社会效益^[14]。为了测定不同来源材料目的性状在同一地区的表现优劣性, 确定某一性状的选择有效性, 或某些性状是否具有同时选择的可能性, 并获得相应的遗传增益, 本研究以 76 份尾叶桉无性系为研究对象, 分 3 次营建无性系测定林。从 2015—2019 年连续观测其生长性状, 并对该表型性状进行方差分析和遗传参数估算, 根据无性系基因型值对尾叶桉优良无性系进行筛选, 估算入选优良无性系的遗传增益, 以期为尾叶桉无性系早期选择提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

阳江林场宝山分场位于广东省阳江市阳东县, 北纬 22°7'257", 东经 112°19'91", 属于水域亚热带季风气候, 雨量充沛, 季风影响较大, 夏季高温多雨, 冬季温暖干燥。年降雨量达 1 550~1 750 mm, 年平均气温 25.2 °C, 极端最高气温 38.5 °C, 极端最低气温 4.2 °C。试验地海拔 150 m 以下, 坡向是由东南至西北的连续山地, 土层深厚, 土壤肥沃, 为砖红壤。试验林地备耕前种植的是松树和相思林。试验林 1 和 2 位于吉富渔场工业区, 试验林 3 位于那尘工业区。

1.2 试验材料与设计

试验林建于 2015—2017 年春季或秋季, 参试的尾叶桉无性系共有 76 个, 来自广东省林业科学研究院种质资源库。

试验采用随机完全区组设计, 每个试验地的参试无性系为 18~30 个不等, 5 株行式小区, 6 次重复, 株行距 2 m×3 m(表 1), 为控制每个试验地的环境误差, 每个试验林地都包含作为对照 (CK) 的商业树种 3 229 和广林 9。造林时每穴施鸡粪有机复混肥 1 kg 或有机肥 1 kg。第 1 年施复合肥 2 次, 第

2 年追肥 1 次, 各施复合肥 0.25 kg。造林后 2 年内, 于每年春末夏初和秋季进行 1~2 次抚育, 并松土扩穴。2015 年造林的试验地仅在造林当年和第 2 年生长季节末进行树高测量, 胸径在第 2、3 和 5 年生时进行每木测量; 2017 年造林的试验地仅在当年测量树高, 在第 2 和 3 年生时分别测量树高和胸径。

表 1 3 个尾叶桉试验林的基本信息
Table 1 Basic information of three test fields for *Eucalyptus urophylla*

试验林编号 Test field ID	造林时间 Afforestation time	数量 No.		区组数 No. of block	小区株数 No. of tree per plot	试验设计 Trial design
		测定无性系 Clones tested	对照 CK			
1	2015-05	28	2	6	5	随机完全区组 Randomized complete block
2	2015-08	18	2	6	5	随机完全区组 Randomized complete block
3	2017-06	30	2	6	5	随机完全区组 Randomized complete block

1.3 统计分析方法

利用 Excel 对原始数据进行整理, 采用 R 软件进行数据的统计分析^[15], 使用 ASReml 4.0 软件对分 3 次营建的尾叶桉无性系试验林的树高和胸径进行遗传参数估算^[16], 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。

每块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} 表示某块试验地第 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 ($i=1, 2, \cdots, 6$) 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。根据续九如^[17]和刘天颐等^[18]报道中的公式对每个个体不同性状的基因型值和遗传增益进行估算。

无性系重复力 (R) 计算公式^[19-20]:

$$R = \frac{\sigma_A^2}{\sigma_P^2},$$

其中, σ_A^2 为无性系的遗传方差, σ_P^2 为总的表型方差, $\sigma_P^2 = \sigma_A^2 + \sigma_e^2$, σ_e^2 为环境方差。

性状平均值及其分布范围决定了其方差的大小^[21]。遗传变异系数用来比较不同性状的相对遗传方差, 其计算公式为:

$$\overline{CV}_A = \frac{\widehat{\sigma_A}}{\bar{y}} \times 100\%,$$

其中, $\overline{CV}_A$ 为加性遗传变异系数, $\widehat{\sigma_A}$ 为加性遗传方差的平方根, $\bar{y}$ 为性状的平均值。遗传变异系数反映的是性状遗传变异的相对大小, 对于给定的性状,

遗传变异系数越大, 该性状具有优良遗传型的潜力就越大。

不同性状间的表型和遗传相关公式:

$$r = \frac{cov_{1,2}}{\sqrt{\widehat{\sigma_1^2}\widehat{\sigma_2^2}}},$$

其中, r 为表型或遗传相关系数, $\widehat{\sigma_1^2}$ 为第 1 个性状的表型或加性遗传方差, $\widehat{\sigma_2^2}$ 表示第 2 个性状的表型或加性遗传方差, $cov_{1,2}$ 表示 2 个性状之间的表型或加性遗传协方差。

2 结果与分析

2.1 尾叶桉无性系遗传参数估算

对 76 个无性系的生长指标进行变异分析, 从表 2 中可以看出, 尾叶桉无性系 1 年生、2 年生和 3 年生的树高平均值分别为 0.62、4.30 和 5.50 m, 变异系数介于 25%~62%。无性系在 2 年生、3 年生和 5 年生的平均胸径分别为 4.1、6.6 和 8.8 cm, 变异系数介于 27%~53%。生长性状的变异系数在前 2 年较大, 表明生长性状在幼年期较不稳定; 在 3 年生时, 树高的变异系数下降速度比胸径变异系数快, 且 3 年生和 5 年生的胸径变异系数差异不大, 表明胸径的变异在 3 年生后基本稳定。

不同试验林的尾叶桉生长性状方差分析、方差分量和单株重复力见表 3。尾叶桉试验林的生长性状方差分析结果表明, 大多数年份内的树高和胸径在区组间的差异达到了显著或极显著的水平, 区组中的小区内方差分析基本不显著, 因此在最佳混合

表 2 3 个试验林内尾叶桉无性系的生长变异情况

Table 2 Variation of growth traits of *Eucalyptus urophylla* in three test fields

项目 Item	树高/m Height			胸径/cm Diameter at breast height		
	1年生	2年生	3年生	2年生	3年生	5年生
	One-year-old	Two-year-old	Three-year-old	Two-year-old	Three-year-old	Five-year-old
最小值 Min.	0.03	0.10	1.00	0.1	1.0	1.2
最大值 Max.	2.60	9.80	8.70	9.7	12.0	16.0
变异范围 Variation ange	2.57	9.70	7.70	9.6	11.0	14.0
平均值 Mean	0.62	4.30	5.50	4.1	6.6	8.8
标准偏差 Standard deviation	0.38	2.50	1.40	2.2	1.8	2.4
方差 Variance	0.14	6.00	1.80	4.7	3.4	5.7
变异系数/% Variation coefficient	62	57	25	53	28	27

表 3 3 个试验林内尾叶桉生长性状的遗传参数估算¹⁾

Table 3 Genetic parameter estimates of *Eucalyptus urophylla* growth traits in three test fields

试验林编号 Test field ID	性状 Trait	方差分析 Variance analysis		方差分量 Variance component		重复力 ²⁾ Repeatability
		区组 Block	小区 Plot	遗传 Genetic	环境 Environment	
1	H_1	2.95**	0.03	0.42**	0.59***	0.42±0.07
	H_2	3.28**	0.04	4.50**	18.25***	0.20±0.05
	DBH ₂	5.73***	0.16	9.17**	13.96***	0.40±0.07
	DBH ₃	3.54**	0.09	14.83**	21.19***	0.41±0.08
	DBH ₅	1.95	0.03	22.61**	30.99***	0.42±0.08
2	H_1	4.11***	1.19	0.45*	1.42***	0.24±0.07
	H_2	12.40***	0.00	4.79*	15.99***	0.23±0.08
	DBH ₂	3.44***	0.13	5.43*	23.69***	0.19±0.07
	DBH ₃	1.15	0.06	11.47*	40.37***	0.22±0.07
	DBH ₅	1.53	0.06	12.06*	45.86***	0.21±0.07
3	H_1	1.45	1.54	0.10***	0.18***	0.37±0.06
	H_2	2.05*	2.85	0.45*	3.93***	0.10±0.03
	H_3	4.16***	1.09	2.37**	15.47***	0.13±0.03
	DBH ₂	0.99	0.65	0.20*	1.63***	0.11±0.02
	DBH ₃	9.06***	0.05	1.64**	9.82***	0.14±0.04

1) H_1 、 H_2 和 H_3 分别表示1年生、2年生和3年生树高, DBH₂、DBH₃和DBH₅分别表示2年生、3年生和5年生胸径, “*”、“**”和“***”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

1) H_1 , H_2 and H_3 represent the height of one-year-old, two-year-old and three-year-old trees respectively; DBH₂, DBH₃ and DBH₅ represent diameter at breast height of two-year-old, three-year-old and five-year-old trees respectively; “*” “**” and “***” represent that Wald F statistics are significant at 5%, 1% and 1‰ levels, respectively; 2) The data in this column are means ± standard errors

线性模型中忽略小区效应。不同试验林方差分量分析结果表明, 树高和胸径在不同时间的遗传和环境方差分量都达到了显著或极显著水平, 遗传方差分量介于 0.10~22.61, 环境方差分量介于 0.18~45.86, 单株重复力介于 0.10~0.42。从 3 个试验地的方差分量结果来看, 随着树龄的增加, 相应性状的遗传和环境方差都相应地增加。

2.2 尾叶桉无性系不同性状间的相关性分析

不同试验林地内尾叶桉树高和胸径之间的遗传和表型相关性分析见表 4。总体上, 试验林内不同年龄尾叶桉的树高和胸径之间均存在较强的正遗传相关, 且相同年龄内的树高和胸径间遗传相关系数较大, 介于 0.88~0.97 之间。在第 1 块试验林中, 除 1 年生树高与其他性状表型和遗传相关系数

表 4 各试验地不同林龄尾叶桉树高和胸径的相关性分析¹⁾

Table 4 Correlation analysis between tree height and diameter at breast height of different age *Eucalyptus urophylla* in different test fields

试验林编号 Test field ID	性状 Trait	H_1	H_2	DBH ₂	H_3	DBH ₃	DBH ₅
1	H_1		0.32±0.20*	0.37±0.18*		0.40±0.17*	0.43±0.17*
	H_2	0.13±0.07*		0.97±0.03**		0.91±0.06**	0.82±0.09**
	DBH ₂	0.21±0.08*	0.54±0.04*			0.95±0.02**	0.91±0.04**
	DBH ₃	0.25±0.08*	0.52±0.05*	0.86±0.01**			0.90±0.04**
	DBH ₅	0.26±0.08*	0.52±0.05**	0.78±0.03*		0.78±0.03*	
2	H_1		0.92±0.06**	0.97±0.05**		0.85±0.11*	0.65±0.19*
	H_2	0.48±0.06*		0.94±0.03**		0.78±0.12*	0.42±0.26*
	DBH ₂	0.53±0.05*	0.90±0.01**			0.91±0.06**	0.66±0.18*
	DBH ₃	0.48±0.05*	0.78±0.02*	0.84±0.01*			0.99±0.01**
	DBH ₅	0.40±0.06*	0.60±0.05*	0.68±0.03*		0.84±0.01*	
3	H_1		0.44±0.18*	0.31±0.29*	0.21±0.20*	0.44±0.17*	
	H_2	0.29±0.04*		0.93±0.03**	0.55±0.16*	0.61±0.15*	
	DBH ₂	0.24±0.05*	0.92±0.01**		0.40±0.23*	0.52±0.19*	
	H_3	0.25±0.04*	0.66±0.02*	0.54±0.03*		0.88±0.05**	
	DBH ₃	0.18±0.05*	0.59±0.02*	0.40±0.04*	0.81±0.01*		

1)各试验林右上角数据为遗传相关系数, 左下角数据为表型相关系数; H_1 、 H_2 和 H_3 分别表示1年生、2年生和3年生树高; DBH₂、DBH₃和DBH₅分别表示2年生、3年生和5年生胸径; “*” 和 “**” 分别表示相关性达到0.05和0.01的显著水平

1)The genetic correlation coefficients and phenotypic correlation coefficients between different traits are in upper triangle and below triangle, respectively; H_1 , H_2 and H_3 represent the height of one-year-old, two-year-old and three-year-old trees respectively; DBH₂, DBH₃ and DBH₅ represent diameter at breast height of two-year-old, three-year-old and five-year-old trees respectively; “*” and “**” indicate significant correlation at 0.05 and 0.01 levels, respectively

较低外, 其他性状间的表型和遗传相关系数都介于 0.52~0.97 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。在第 2 块试验林地中, 树高和胸径的表型和遗传相关系数介于 0.40~0.99 之间。在第 3 块试验林地中, 除 1 年生树高与其他性状的表型和遗传相关系数较低外, 其他性状间的表型和遗传相关系数都介于 0.40~0.93 之间。综上所述, 除了 1 年生树高外, 其他不同年龄尾叶桉的树高与胸径间的遗传相关系数都达到中等及较高的值 (0.40~0.98), 树高和胸径在 2 年生的遗传相关系数较高, 但随着尾叶桉试验林树龄的增加, 相关系数有所降低。

2.3 优良无性系选择

以基因型选择代替表型选择, 在林木遗传改良中尤其在在高世代育种中将极大地提高选择的准确性。第 1 块试验林地中, 无性系 3229 的生长表现和基因型值优于广林 9, 第 2 和第 3 块试验林地中, 广林 9 的生长表现和基因型值都优于 3229。因此, 第 1 块试验林地以无性系 3229 为对照, 第 2、3 块试验

林地以无性系广林 9 为对照, 根据不同年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, 以 20% 的无性系入选率为依据, 从 3 块试验林地共选出 15 个优良无性系 (表 5)。从第 1 块试验林地中选择出 6 个优良无性系 (ZQUB29、ZQUA34、ZQUC33、LDUB66、ZQUD10 和 ZQUA33), 入选无性系 3 年生和 5 年生胸径比对照 (无性系 3229) 分别增加 0.43 和 0.27 cm, 遗传增益分别达 5.30% 和 2.76%; 从第 2 块试验林地中选择出 5 个优良无性系 (ZQUA15、ZQUA33、UB31、LDUA29 和 ZQUA10), 入选无性系 3 年生和 5 年生胸径比对照 (无性系广林 9) 分别增加 0.77 和 1.03 cm, 遗传增益达 9.41% 和 10.60%; 从第 3 块试验林地中选择出 4 个优良无性系 (ZQUC23、ZQUB28、ZQUA9 和 ZQUA35), 这些入选无性系 3 年生胸径比对照 (无性系广林 9) 增加 0.61 cm, 遗传增益达 10.62%。为了消除不同试验林地之间的环境差异, 验证所选的优良无性系在阳江地区的整体表现, 对 3 个试验林地校正后的树高和胸径性状进行了基因型值预测,

结果见表 5。优良无性系 LDUB66、ZQUD10 和 ZQUA10 的 3 年生胸径基因型值在同一试验林地内较低,但随着树龄的增加,5 年生时有所增加,生长表现较好,表明这 3 个无性系随着年龄的增加长势逐渐增强。第 2 块试验地中优良无性系 LDUA29 的 3 年生胸径基因型值远高于对照广林 9,但随着

树龄的增加,5 年生时胸径基因型值逐渐下降及生长表现不佳,表明该无性系随着年龄的增加长势逐渐减弱。优良无性系 ZQUB29、ZQUA34、ZQUC33、ZQUA15 和 ZQUA33 在所有年龄的预测基因型值和生长表现都较好,表明这些无性系可能在整个轮伐期长势都较稳定。

表 5 尾叶桉优良无性系生长性状及基因型预测值¹⁾

Table 5 Growth performance and predicted genotype values for growth traits of excellent clones of <i>Eucalyptus urophylla</i>									
试验林编号 Test field ID	无性系编号 Clone ID	生长表现 Growth performance				预测的基因型值 Predicted genotype value			
		H_1 /m	H_2 /m	DBH ₃ /cm	DBH ₅ /cm	DBH ₃ /cm	DBH ₅ /cm	DBH ₃ /CK	DBH ₅ /CK
1	ZQUB29	0.718	7.355	9.043	10.200	1.859	1.940	0.287	0.122
	ZQUA34	0.692	7.000	8.677	10.108	1.812	1.977	0.370	0.315
	ZQUC33	0.540	7.282	8.765	10.026	1.805	1.812	0.330	0.295
	LDUB66	0.668	6.893	8.285	10.404	1.348	2.105	0.124	0.234
	ZQUD10	0.743	7.671	8.283	10.239	1.322	2.105	0.193	0.162
	ZQUA33	0.790	7.300	8.120	9.271	1.242	1.094	0.204	0.296
	3 229(CK)	0.692	6.521	8.100	9.770	1.182	1.515	0.163	0.226
2	ZQUA15	1.432	7.273	9.252	10.523	1.284	0.869	0.189	0.204
	ZQUA33	1.362	7.246	8.959	10.360	1.035	0.792	0.114	0.078
	UB31	1.250	5.860	8.816	11.440	0.900	0.342	0.065	0.111
	LDUA29	1.258	6.518	8.618	9.675	0.762	0.243	0.188	0.067
	ZQUA10	0.990	6.000	9.350	12.025	0.755	1.263	0.121	0.091
	广林9(CK)	1.018	6.447	8.225	9.715	0.323	0.140	0.002	0.005
3	ZQUC23	0.374	6.721	7.071		1.071		0.085	
	ZQUB28	0.347	6.108	6.263		0.390		0.010	
	ZQUA9	0.305	5.729	6.176		0.335		0.037	
	ZQUA35	0.440	5.924	6.072		0.231		-0.001	
	广林9(CK)	0.433	5.600	5.782		-0.006		-0.007	

1)仅列出优良无性系的基因型值; H_1 和 H_2 分别表示1年生和2年生树高,DBH₃和DBH₅分别表示3年生和5年生胸径,DBH₃/CK和DBH₅/CK分别代表3年生和5年生胸径与对照的比值

1)Only genotype values of the excellent clones in each test field are listed; H_1 and H_2 represent the height of one-year-old and two-year-old tree respectively, DBH₃ and DBH₅ represent diameter at breast height of three-year-old and five-year-old tree respectively, DBH₃/CK and DBH₅/CK represent the ratios of diameter at breast height in three- and five- year-old trees to the control (CK) respectively

3 讨论与结论

3.1 遗传材料差异

本研究 76 个尾叶桉无性系 1 年生、2 年生和 3 年生树高的变异范围分别为 0.03~2.60、0.10~9.80 和 1.00~8.70 m, 胸径 2 年生、3 年生和 5 年生的变异范围分别为 0.1~9.7、1.0~12.0 和 1.2~16.0 cm。尾叶桉无性系在 1~2 年生时树高和胸径的平均变异系数在 50% 以上, 3~5 年生时生长性状的平均变异系数在 27% 左右, 表明尾叶桉生长性状的变异系数随树龄的增长而呈下降趋势, 尾叶桉处于稳定生长

阶段。

方差分析结果表明, 大多数年份内尾叶桉无性系树高和胸径的区组方差达到了显著或极显著水平。方差分量分析结果表明, 尾叶桉无性系胸径和树高的遗传和环境方差分量都达到显著或极显著水平; 除第 3 块试验地中 2 年生和 3 年生树高、胸径重复力较低外, 其他地块不同年龄的树高、胸径的重复力达到了较高的水平, 且重复力的研究结果与其他文章报道的大致相同^[9, 11-12]。不同试验林地内不同年龄尾叶桉的树高和胸径之间均存在较强

的正遗传相关, 且相同年龄内的树高和胸径间遗传相关系数较大。总体来看, 树高和胸径在 1~2 年生时的表型和遗传相关系数较小, 而 3~5 年生时表型和遗传相关系数较大。这可能由于有些无性系在 1 年生和 2 年生时以高生长为主, 有些无性系以径生长为主, 直至 3~5 年生时高生长和径生长才比较平稳, 且树高与胸径存在显著或极显著的表型和遗传相关关系。因此, 尾叶桉优良无性系选择需在 3 年生以上时进行才有意义。另外, 由于尾叶桉为速生树种, 只测量胸径性状即可满足研究精确度的要求。

此外, 本研究仅根据不同年龄的生长性状进行了初步分析选择, 今后还需对木材材性和形质性状进行测定和评价, 以实现高产优质的尾叶桉推广生产目标。

3.2 不同造林时间的影响

在不同试验林地中, 在不同年龄阶段树高和胸径的遗传方差都达到了显著或极显著水平。其中, 不同年龄段的树高遗传方差随树龄的增加而增大, 而胸径遗传方差则相反。结合树高和胸径的生长表现, 本研究以 20% 的无性系入选率, 在 3 年生以上的试验林中开展优良无性系选择, 从 76 个无性系中选择 15 个优良无性系。其中, 优良无性系 ZQUB29、ZQUA34、ZQUC33、ZQUA15 和 ZQUA33 在所有年龄内生长期均表现较好。综上所述, 在尾叶桉无性系测定中, 鉴于不同造林时间与尾叶桉生长性状存在显著相关性效应, 为了增加育种的遗传增益, 今后需要将无性系的增殖代数、造林时间和造林次数考虑进混合线性模型中, 以获得最优良的无性系, 关于这方面的研究进展有待后续报道。

参考文献:

[1] KIEN N D, JANSSON G, HARWOOD C, et al. Genetic control of growth and form in *Eucalyptus urophylla* in northern Vietnam[J]. *Journal of Tropical Forest Science*, 2009, 21(1): 50-65.

[2] WRIGHT J A, OSORIO L F. Comparison of *Eucalyptus urophylla* provenance performance at half-rotation in Colombia and hybrid strategies with *Eucalyptus grandis*[J]. *Forest Ecology and Management*, 1996, 83(1): 117-122.

[3] 白嘉雨. 桉树遗传育种的回顾及发展前景-桉树遗传改良是我国人工林树种改良成功的范例[J]. *广西林业科学*, 2006, 35(4): 221-226.

[4] 祁述雄. 中国桉树[M]. 2 版. 北京: 中国林业出版社, 2002.

[5] 徐建民, 陆钊华, 李光友, 等. 细叶桉种源-家系综合选择的研究[J]. *林业科学研究*, 2003(1): 1-7.

[6] 齐杰, 卢万鸿, 李鹏, 等. 桉树及其杂交种叶片形态的遗传变异特征[J]. *热带亚热带植物学报*, 2018, 26(6): 589-596.

[7] QUANG T H, KIEN N D, ARNOLD S V, et al. Relationship of wood composition to growth traits of selected open-pollinated families of *Eucalyptus urophylla* from a progeny trial in Vietnam[J]. *New Forests*, 2010, 39(3): 301-312.

[8] WU S J, XU J M, LI G Y, et al. Genetic variation and genetic gain in growth traits, stem-branch characteristics and wood properties and their relationships to *Eucalyptus urophylla* clones[J]. *Silvae Genet*, 2013, 62(4): 218-231.

[9] 陆钊华, 徐建民, 李光友, 等. 桉树多树种无性系综合选择[J]. *南京林业大学学报 (自然科学版)*, 2005, 29(5): 61-64.

[10] 崔之益, 徐大平, 杨曾奖, 等. 桉树无性系在华南 6 种立地条件下的适生性评价[J]. *华南农业大学学报*, 2017, 38(3): 79-86.

[11] 李光友, 徐建民, 王伟, 等. 杂交桉家系在冷凉区优势评价与遗传分析[J]. *南京林业大学学报 (自然科学版)*, 2017, 41(4): 55-63.

[12] 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.

[13] 卢万鸿, 齐杰, 李鹏, 等. 桉树无性系生长性状的基因型与环境互作初步研究[J]. *桉树科技*, 2018, 35(2): 7-13.

[14] 王金晶, 岑启鲤. 桉树生态效益及经营问题探讨[J]. *南方农业*, 2018, 12(15): 80-81.

[15] TURNER H. A peer-reviewed, open-access publication of the R foundation for statistical computing[J]. *The R Journal*, 2011, 3(2): 18-26.

[16] GILMOUR A R, CULLIS B R, WELHAM S J, et al. An efficient computing strategy for prediction in mixed linear models[J]. *Computational Statistics & Data Analysis*, 2004, 44(5): 571-586.

[17] 续九如. 林木数量遗传学[M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 28-30.

[18] 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.

[19] MULLIN T J, PARK Y S. Estimating genetic gains from alternative breeding strategies for clonal forestry[J]. *Canadian Journal Forest Research*, 1992, 22(1): 14-23.

[20] MURANTY H N, SCHERMANN F S, DUFOR J. Genetic parameters estimated from a wild cherry diallel: Consequences for breeding[J]. *Silvae Genet*, 1998, 47(5): 249-257.

[21] SOKAL R R, ROHLF F J. Biometry: The principles and practice of statistics in biological research[M]. 3rd edition, San Francisco: W. H. Freeman, 1995.