

桉树优良无性系选育研究*

Study on *Eucalyptus* Clones for Superior Variety Selection

李晓琼^{1,2}, 苏勇³, 郭文锋^{4**}, 兰俊³, 熊涛³, 张磊³, 温远光^{1,2**}

LI Xiao-qiong^{1,2}, SU Yong³, GUO Wen-feng⁴, LAN Jun³, XIONG Tao³, ZHANG Lei³, WEN Yuan-guang^{1,2}

(1. 广西大学林学院, 亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室, 广西南宁 530004; 2. 广西大学林学院, 广西高校林业科学与工程重点实验室, 广西南宁 530004; 3. 广西国有东门林场, 广西扶绥 532100; 4. 广西农业科学院, 广西遗传改良与生物技术重点开放实验室, 广西南宁 530007)

(1. State Key Laboratory for Conservation and Utilization of Subtropical Agro-bioresources, Forestry College of Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 2. Guangxi Colleges and Universities Key Laboratory of Forestry Science and Engineering, Forestry College of Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China; 3. Dongmen State Forest Farm of Guangxi, Fusui, Guangxi, 532100, China; 4. Guangxi Crop Genetic Improvement and Biotechnology Lab, Guangxi Academy of Agricultural Sciences, Nanning, Guangxi, 530007, China)

摘要:【目的】通过对 39 个桉树 (*Eucalyptus*) 无性系多品质性状的综合评价, 筛选出速生、干形好的优良无性系, 为桉树的良种选育提供科学参考。【方法】运用方差分析、主成分分析等方法, 对各桉树无性系品质进行综合比较与优劣排序。【结果】方差分析结果表明 39 个无性系的树高(H)、胸径(DBH)、单株材积(SV)、枝下高(LBH)、干形(SF)等性状差异显著。主成分分析结果显示: 在 39 个无性系中, 综合分值排前五的无性系分别是 567-4, 629-3, 631-2, 600-5 和 645-4, 这 5 个无性系具有生长快、干形好等优良聚合性状; 而 649-9, 623-3, 664-2 和 628-3 在单一性状(如单株材积或材性)表现优秀。【结论】综合筛选出的 5 个优良无性系可用于大面积推广, 而单一性状优秀的 4 个无性系对未来桉树育种及定向性状改良具有重要价值。

关键词: 桉树 无性系 品质 主成分分析

中图分类号: S722.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-9164(2015)06-0586-07

Abstract: 【Objective】The multiple characteristics of 39 *Eucalyptus* clones were comprehensively evaluated in order to select excellent clones with fast growth and best timber characteristics and provide scientific reference for superior species selection and breeding of *Eucalyptus* plantations. 【Methods】We compared the quality of these clones and ranked them by variance analysis combined with the principal component analysis (PCA). 【Results】The results of variance analysis showed that there were significant differences in height (H), diameter at breast height (DBH), individual volume (SV), live branches

收稿日期: 2015-09-09

作者简介: 李晓琼(1985—), 女, 讲师, 主要从事植物生态学研究。

* 国家自然科学基金项目(31460121, 31360458, 31460115), 中国博士后基金项目(2014M552286), 广西农科院科技发展基金项目(2015YT97), 广西自然科学基金项目(2011GXNSFB018053), 亚热带农业生物资源保护与利用国家重点实验室基金项目和广西博士后基金专项项目[桂发(2010)30号]资助。

** 通讯作者: 郭文锋(1978—), 男, 副研究员, 主要从事植物生态学研究, E-mail: wenfeng_guo@126.com; 温远光(1957—), 男, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事森林生态和森林培育研究, E-mail: wenyg@263.net。

height (LBH), and stem form (SF) among 39 clones. Based on comprehensive comparisons using PCA method, the top five clones were 567-4, 629-3, 631-2, 600-5 and 645-4, respectively; While the clones 649-9, 623-3, 664-2 and 628-3 owned single excellent trait (the highest SV or the best SF). **【Conclusion】**The 5 clones with comprehensive excellent quality can be popularized widely because of their faster growth and high form quality, and the 4 clones superior in single trait have important values in future breeding and target properties improvement of *Eucalyptus*.

Key words: *Eucalyptus*, clone, quality, principal component analysis

0 引言

【研究意义】由于桉树具有速生、丰产、适应性强及用途广等特点,被全世界广泛引种^[1]。目前,桉树已成为全球第2大造林树种,桉树人工林面积约占人工林总面积的1/3(文献[2])。桉树也是我国南方发展速生丰产林的重要战略树种^[3],据粗略估计,我国桉树种植面积已超过450万hm²,位居世界第三^[4]。广西于1890年开始引入桉树种植,目前桉树人工林面积已居全国首位,主要集中在南宁、北海、钦州、防城、百色、贵港等地区^[5]。选育出优良桉树品系是高水平、可持续发展桉树人工林的重要前提^[3]。**【前人研究进展】**桉树无性系造林材性一致、林相整齐,增产效果显著,所以很多国家均十分重视桉树无性系育种研究^[6],且成效显著^[7~9]。如巴西 Aracruz 公司选育的巨桉×尾叶桉杂种(*Eucalyptus grandis*×*Eucalyptus urophylla*)不仅速生性好,而且萌芽力和抗病性均比巨桉纯种强^[9]。我国于20世纪70年代开始桉树人工杂交育种工作,目前已选育出雷林1号桉、广9、32-29等大面积推广的优良无性系^[7]。**【本研究切入点】**我国桉树造林无性系品系单一,通过杂交育种获得的桉树无性系存在遗传背景不清、杂种优势不稳定等问题^[4],无性系间在产量、形质及抗逆性等方面差异很大^[10~12]。因此,有目的地选育出具有聚合优良品质的桉树无性系是桉树人工林可持续发展的必然要求。**【拟解决的关键问题】**通过对广西东门林场培育出的39个桉树无性系品质进行综合评价,以期筛选出几种高产、优质的桉树无性系,为桉树的良种选育提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

本实验在广西国有东门林场国家级林木实验基地进行。该基地位于广西崇左市扶绥县东门镇,属于亚热带季风气候区,阳光充足,雨热同季、夏湿冬干,

年平均气温为21.2~22.3℃。1月平均气温12.5~13.8℃;7月平均气温27.2~28.6℃。全年降雨量约1100~1300mm,主要集中在6~8月。平均相对湿度为75%。土壤类型主要是赤红壤,有少量红壤和石灰土,土壤肥力较差。土壤显酸性,pH值为4.5~5.5。

1.2 实验设计与造林

试验林于2012年5月营造,共有39个无性系(表1)。采用完全随机区组设计,单行8株小区,4次重复,株行距2m×4m。机耕全垦整地,横行向开沟。定植前施基肥(500g钙镁磷+200g复合肥·株⁻¹),1年后进行追肥抚育(250g复合肥·株⁻¹)。

1.3 调查方法

2014年9月,对39个无性系进行每木检尺,测量胸径(DBH)、树高(H)、枝下高(LBH)、干形(SF)等指标。干形指标依照参考文献[13]分为4个等级(I级:主干通直圆满,得4分;II级:主干直、不圆满,得3分;III级:主干稍弯曲、不圆满,得2分;IV级:主干有两个以上弯曲,得1分)。

1.4 统计分析

单株材积(SV)计算公式^[14]采用: $SV = H \times DBH^2 / 3$ 。

运用SPSS17.0对各无性系间树高(H)、胸径(DBH)、单株材积(SV)、枝下高(LBH)、干形(SF)等生长指标进行单因素方差分析;再运用主成分分析法对39个无性系的综合品质进行优劣排名,筛选出生长性状和形质性状均优良的无性系。

2 结果与分析

2.1 无性系生长性状方差分析

方差分析结果表明:各无性系间的树高(H)、胸径(DBH)、单株材积(SV)、枝下高(LBH)均差异极显著($P < 0.001$);干形(SF)差异显著($P < 0.05$) (表2)。

表 1 参试桉树无性系概况

Table 1 Sources of *Eucalyptus* clones used in the trial

编号 Number	无性系 Clone	亲本 Parents	保存率 Survival rate(%)	编号 Number	无性系 Clone	杂交亲本 Parents	保存率 Survival rate(%)
1	32-26	尾巨桉 <i>E. urophylla</i> × <i>E. grandis</i>	100	21	634-2	粗皮桉×细叶桉 <i>E. pellita</i> × <i>E. tereticornis</i>	37.5
2	562-2	(尾叶桉×细叶桉)×赤桉 (<i>E. urophylla</i> × <i>E. tereticornis</i>) × <i>E. camaldulensis</i>	87.5	22	645-4	尾叶桉×尾细桉 <i>E. urophylla</i> × <i>E. tereticornis</i>	87.5
3	563-1	(尾叶桉×细叶桉)×细叶桉 (<i>E. urophylla</i> × <i>E. tereticornis</i>) × <i>E. tereticornis</i>	87.5	23	646-2	尾细桉 <i>E. urophylla</i> × <i>E. tereticornis</i>	87.5
4	564-3	(尾叶桉×细叶桉)×细叶桉 (<i>E. urophylla</i> × <i>E. tereticornis</i>) × <i>E. tereticornis</i>	87.5	24	648-2	尾细桉 <i>E. urophylla</i> × <i>E. tereticornis</i>	75
5	565-3	(尾叶桉×巨桉)×赤桉 (<i>E. urophylla</i> × <i>E. grandis</i>) × <i>E. camaldulensis</i>	87.5	25	649-9	尾细桉 <i>E. urophylla</i> × <i>E. tereticornis</i>	87.5
6	567-4	(尾叶桉×巨桉)×细叶桉 (<i>E. urophylla</i> × <i>E. grandis</i>) × <i>E. tereticornis</i>	100	26	650-5	尾细桉 <i>E. urophylla</i> × <i>E. tereticornis</i>	75
7	569-2	(细叶桉×巨桉)×赤桉混合 (<i>E. tereticornis</i> × <i>E. grandis</i>) × <i>E. camaldulensis</i>	87.5	27	651-3	尾细桉 <i>E. urophylla</i> × <i>E. tereticornis</i>	100
8	577-1	(尾叶桉×细叶桉)×赤桉 (<i>E. urophylla</i> × <i>E. tereticornis</i>) × <i>E. camaldulensis</i>	25	28	652-2	尾细桉 <i>E. urophylla</i> × <i>E. tereticornis</i>	100
9	591-2	(巨桉×赤桉)×赤桉 (<i>E. grandis</i> × <i>E. camaldulensis</i>) × <i>E. camaldulensis</i>	75	29	654-1	尾细桉 <i>E. urophylla</i> × <i>E. tereticornis</i>	75
10	600-5	(尾叶桉×巨桉)×细叶桉 (<i>E. urophylla</i> × <i>E. grandis</i>) × <i>E. tereticornis</i>	100	30	658-1	尾细桉 <i>E. urophylla</i> × <i>E. tereticornis</i>	87.5
11	604-2	(尾叶桉×巨桉)×细叶桉 (<i>E. urophylla</i> × <i>E. grandis</i>) × <i>E. tereticornis</i>	100	31	659-2	尾细桉 <i>E. urophylla</i> × <i>E. tereticornis</i>	50
12	612-3	(巨桉×细叶桉)×巨桉 (<i>E. grandis</i> × <i>E. tereticornis</i>) × <i>E. grandis</i>	37.5	32	660-2	尾细桉 <i>E. urophylla</i> × <i>E. tereticornis</i>	87.5
13	613-1	(巨桉×细叶桉)×细叶桉 (<i>E. grandis</i> × <i>E. tereticornis</i>) × <i>E. tereticornis</i>	75	33	663-1	尾细桉 <i>E. urophylla</i> × <i>E. tereticornis</i>	100
14	618-2	巨尾桉×赤桉 (<i>E. grandis</i> × <i>E. urophylla</i>) × <i>E. camaldulensis</i>	50	34	664-2	尾细桉 <i>E. urophylla</i> × <i>E. tereticornis</i>	37.5
15	622-3	巨尾桉×细叶桉 (<i>E. grandis</i> × <i>E. urophylla</i>) × <i>E. tereticornis</i>	100	35	667-1	尾叶桉×(尾叶桉×细叶桉) <i>E. urophylla</i> × (<i>E. urophylla</i> × <i>E. tereticornis</i>)	37.5
16	623-3	粗皮桉×赤桉 <i>E. pellita</i> × <i>E. camaldulensis</i>	25	36	673-1	尾细桉 <i>E. urophylla</i> × <i>E. tereticornis</i>	100
17	626-4	粗皮桉×细叶桉 <i>E. pellita</i> × <i>E. tereticornis</i>	87.5	37	675-3	尾细桉 <i>E. urophylla</i> × <i>E. tereticornis</i>	12.5
18	628-3	粗皮桉×细叶桉 <i>E. pellita</i> × <i>E. tereticornis</i>	87.5	38	676-3	尾细桉 <i>E. urophylla</i> × <i>E. tereticornis</i>	87.5
19	629-3	粗皮桉×细叶桉 <i>E. pellita</i> × <i>E. tereticornis</i>	100	39	677-1	尾细桉 <i>E. urophylla</i> × <i>E. tereticornis</i>	75
20	631-2	粗皮桉×细叶桉 <i>E. pellita</i> × <i>E. tereticornis</i>	90.6				

其中,树高最高的是无性系 649-9,平均树高达 11.4 m;其次是 650-5,654-1,600-5,663-1,树高均高于 9.5 m。而长势较慢的是 628-3 和 622-3,树高低于 6.5 m。胸径最大的是 600-5 和 577-1,数值高达 12.8 cm,其次是 646-2,629-3,569-2;而最低的是 612-3,623-3,其胸径分别是 7.5 cm 和 8.4 cm (表 3)。

材积是林木生长量考察的综合指标。在 39 个参试无性系中,单株材积大于总体平均值的无性系共有 22 个,排在前 5 名的分别是 649-9,600-5,650-5,663-1,629-3,而表现最差的是 623-3。其中,生长最优的 649-9 号无性系,其单株材积达到了 0.0596 m³,是最差无性系 623-3 的 402.70%,是总体平均值的 198.67%(表 3)。

表 2 39 个桉树无性系生长性状方差分析

Table 2 Variance analysis results of growth traits among 39 *Eucalyptus* clones

变异源 Variance source	自由度 Degree of freedom (df)	树高 Height(H)		胸径 Diameter at breast height(DBH)		单株材积 Individual volume(SV)		枝下高 Live branches height(LBH)		干形 Stem form (SF)	
		均方 Mean square	F	均方 Mean square	F	均方 Mean square	F	均方 Mean square	F	均方 Mean square	F
无性系间 Between groups	38	10.259	4.514***	8.536	4.781***	0.001	4.521***	26.384	3.25***	1.442	1.634*
无性系内 Within groups	934	2.273		1.785		0.271		8.117		0.882	
总计 Total	971										

注: * 和 *** 分别表示在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.001$ 水平上差异显著。

Note: * and *** indicated significant differences at the $P < 0.05$ and $P < 0.001$ level, respectively.

表 3 桉树无性系生长性状多重比较结果

Table 3 Multiple comparisons of growth traits among *Eucalyptus* clones

编号 Number	无性系 Clone	树高 Height(H, m)	胸径 Diameter at breast height(DBH, cm)	枝下高 Live branches height(LBH, m)	单株材积 Individual volume (SV, m ³)	干形 Stem form (SF)
1	32-26	9.3±0.24 ^{abcde}	12.2±0.47 ^{def}	5.3±0.87 ^{abcd}	0.0411±0.003 ^{abcde}	3.6±0.37 ^{bc}
2	562-2	7.3±0.48 ^{abcd}	11.9±0.37 ^{def}	6.4±1.16 ^{abcd}	0.0264±0.004 ^{abcd}	2.6±0.36 ^{ab}
3	563-1	6.5±0.93 ^{ab}	8.7±0.86 ^{abc}	2.3±1.31 ^{abcd}	0.0185±0.006 ^{abc}	3.7±0.28 ^{bc}
4	564-3	8.0±0.27 ^{abcd}	9.2±0.59 ^{abcd}	2.3±1.29 ^{abcd}	0.0238±0.002 ^{abcd}	3.0±0.53 ^{ab}
5	565-3	9.3±0.38 ^{abcde}	10.4±0.62 ^{bcdef}	5.2±1.04 ^{abcd}	0.0359±0.004 ^{abcde}	3.6±0.42 ^{bc}
6	567-4	7.8±0.32 ^{abcd}	11.9±0.42 ^{def}	8.3±0.56 ^d	0.0293±0.002 ^{abcd}	4.0±0.001 ^{bc}
7	569-2	9.7±0.09 ^{abcde}	12.2±0.15 ^{def}	6.2±1.09 ^{abcd}	0.0437±0.001 ^{bcde}	3.6±0.42 ^{bc}
8	577-1	7.5±0.11 ^{abcd}	12.8±0.44 ^f	5.2±0.73 ^{abcd}	0.0289±0.001 ^{abcd}	3.7±0.33 ^{bc}
9	591-2	7.9±0.31 ^{abcd}	10.6±0.52 ^{bcdef}	1.6±0.34 ^{abc}	0.0267±0.003 ^{abcd}	2.7±0.42 ^{ab}
10	600-5	10.1±0.27 ^{cd}	12.8±0.33 ^f	8.0±0.63 ^{cd}	0.0495±0.002 ^{de}	3.8±0.25 ^{bc}
11	604-2	8.1±0.61 ^{abcd}	10.4±0.55 ^{bcdef}	3.4±1.04 ^{abcd}	0.0288±0.006 ^{bcde}	3.3±0.49 ^{ab}
12	612-3	7.0±1.82 ^{abc}	7.5±1.26 ^a	4.2±2.26 ^{abcd}	0.0189±0.011 ^{abc}	4.0±0.001 ^{bc}
13	613-1	8.9±0.71 ^{abcde}	11.5±0.50 ^{cd}	5.2±0.79 ^{abcd}	0.0367±0.006 ^{abcde}	4.0±0.001 ^{bc}
14	618-2	8.6±0.51 ^{abcde}	11.0±0.89 ^{bcdef}	4.4±2.03 ^{abcd}	0.0326±0.005 ^{abcd}	4.0±0.001 ^{bc}
15	622-3	6.3±0.71 ^a	10.8±0.83 ^{bcdef}	3.1±1.21 ^{abcd}	0.0207±0.004 ^{abc}	4.0±0.001 ^{bc}
16	623-3	6.5±0.25 ^{ab}	8.4±0.46 ^{ab}	0.9±0.41 ^a	0.0148±0.001 ^a	4.0±0.001 ^{bc}
17	626-4	9.5±0.65 ^{abcde}	10.6±0.23 ^{bcdef}	7.6±0.37 ^{bcd}	0.0378±0.004 ^{abcde}	2.4±0.52 ^a
18	628-3	6.2±0.31 ^a	9.9±0.34 ^{abcdef}	6.1±1.02 ^{abcd}	0.0165±0.002 ^{ab}	3.3±0.35 ^{ab}
19	629-3	9.6±0.39 ^{abcde}	12.5±0.40 ^{ef}	8.1±0.74 ^{cd}	0.0455±0.005 ^{cd}	4.0±0.001 ^{bc}
20	631-2	9.0±0.64 ^{abcde}	12.2±0.41 ^{def}	6.6±0.57 ^{abcd}	0.0401±0.006 ^{abcde}	4.0±0.001 ^{bc}
21	634-2	8.2±0.52 ^{abcde}	10.2±0.60 ^{bcdef}	4.2±1.20 ^{abcd}	0.0278±0.004 ^{abcd}	3.3±0.66 ^{ab}
22	645-4	6.8±0.85 ^{abc}	11.1±0.99 ^{bcdef}	5.4±1.70 ^{abcd}	0.0247±0.006 ^{abcd}	4.0±0.001 ^{bc}
23	646-2	8.5±0.57 ^{abcde}	12.7±0.42 ^{ef}	7.3±1.42 ^{abcd}	0.0370±0.005 ^{abcde}	3.3±0.42 ^{ab}
24	648-2	7.4±0.53 ^{abcd}	10.8±0.31 ^{bcdef}	3.8±1.32 ^{abcd}	0.0250±0.004 ^{abcd}	2.7±0.42 ^{ab}
25	649-9	11.4±0.58 ^e	12.1±0.30 ^{def}	5.7±1.29 ^{abcd}	0.0596±0.006 ^e	4.0±0.001 ^{bc}
26	650-5	10.5±0.42 ^{de}	11.8±0.28 ^{def}	6.9±0.27 ^{abcd}	0.0495±0.005 ^{de}	4.0±0.001 ^{bc}
27	651-3	8.5±0.74 ^{abcde}	10.6±0.60 ^{def}	6.5±1.26 ^{abcd}	0.0330±0.005 ^{abcd}	3.8±0.25 ^{bc}
28	652-2	8.5±0.33 ^{abcde}	11.6±0.16 ^{cd}	4.2±1.21 ^{abcd}	0.0335±0.003 ^{abcd}	3.5±0.33 ^{ab}
29	654-1	10.5±0.49 ^{de}	9.7±0.56 ^{bcdef}	3.9±1.31 ^{abcd}	0.0413±0.004 ^{abcde}	3.0±0.63 ^{ab}
30	658-1	6.8±0.78 ^{abc}	9.3±0.71 ^{abcd}	1.3±0.37 ^{ab}	0.0204±0.005 ^{abc}	3.7±0.28 ^{bc}
31	659-2	8.9±0.29 ^{abcde}	12.1±0.13 ^{def}	4.4±1.82 ^{abcd}	0.0377±0.002 ^{abcde}	3.5±0.50 ^{ab}
32	660-2	7.3±0.54 ^{abcd}	10.7±0.38 ^{bcdef}	6.8±0.87 ^{abcd}	0.0242±0.004 ^{abcd}	2.9±0.59 ^{ab}
33	663-1	9.8±0.77 ^{bcde}	11.7±0.35 ^{def}	5.6±1.31 ^{abcd}	0.0456±0.006 ^{cd}	3.5±0.37 ^{ab}
34	664-2	8.8±1.32 ^{abcde}	10.7±1.17 ^{abcde}	0.8±0.17 ^a	0.0355±0.012 ^{abcde}	4.0±0.001 ^{bc}
35	667-1	8.1±1.31 ^{abc}	9.3±0.93 ^{abcd}	0.9±0.78 ^a	0.0266±0.009 ^{abcd}	3.0±1.00 ^{ab}
36	673-1	9.0±0.31 ^{abcde}	11.5±0.13 ^{cd}	7.9±0.55 ^{cd}	0.0368±0.002 ^{abcde}	2.9±0.54 ^{ab}
37	675-3	9.2±0.29 ^{abcde}	11.8±0.34 ^{def}	5.4±1.70 ^{abcd}	0.0388±0.003 ^{abcde}	4.0±0.001 ^{bc}
38	676-3	8.6±0.44 ^{abcde}	11.9±0.54 ^{def}	4.3±1.70 ^{abcd}	0.0351±0.004 ^{abcd}	3.9±0.14 ^{bc}
39	677-1	9.3±1.02 ^{abcde}	10.8±0.33 ^{bcdef}	7.2±1.70 ^{abcd}	0.0387±0.008 ^{abcde}	3.5±0.50 ^{ab}
总体均值 Mean value		8.51±0.1025	11.08±0.1082	5.20±0.21	0.0337±0.0009	3.51±0.063

注: 同一列相同字母表示在 $P < 0.05$ 的水平差异不显著。

Note: Values with the same letter were not significantly different at the $P < 0.05$ level.

枝下高最高的是无性系 567-4, 其次是无性系 629-3, 600-5, 673-1; 而分枝最低的是无性系 664-2, 623-3, 667-1(枝下高均低于 1 m)(表 3)。在干形得分上, 分数高于总体均值的无性系有 22 个, 其中分值最高的是 567-4, 612-3, 613-1, 618-2, 622-3, 623-3, 629-3, 631-2, 645-4, 649-9, 650-5, 664-2, 675-3(干形得分均为满分); 而分值最低的是 626-4(仅为 2.4), 显著低于排在前面的 22 个无性系。

根据多重比较综合结果表明: 将 39 个桉树无性系的树高、胸径、单株材积、枝下高、干形等进行排名, 前 10 名中出现频度最高的无性系是 629-3, 频度高达 5, 说明此无性系的生长和干形均很优秀; 其次是无性系 600-5, 631-2, 649-9, 频度为 4; 而其它无性系仅单个性状表现较优秀(图 1)。

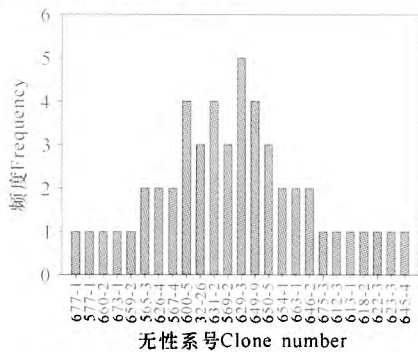


图 1 树高、胸径、单株材积、枝下高、干形排名前 10 无性系的频度分布

Fig. 1 Frequency distribution of top 10 clones at height, diameter at breast height, individual volume, live branches height, and stem form

2.2 无性系生长性状主成分分析

通过对 39 个无性系的 5 个生长性状(树高、胸径、单株材积、干形、枝下高)进行主成分分析, 根据累计贡献率大于 85% 的原则确定主成分个数, 共筛选出 3 个主成分。从表 4 可以看出, 第 1 个主成分的特征根为 2.899, 方差贡献率为 57.98%, 代表了全部性状信息的 57.98%, 是最重要的主成分; 第 2 个主成分的特征根为 0.997, 方差贡献率为 19.94%, 代表了全部性状信息的 19.94%; 前 3 个主成分的累积方差贡献率为 92.82%, 表明前 3 个主成分可反映桉树无性系主要生长性状 92% 的信息, 实现了降维的目的。

根据各性状相关阵的特征向量(表 5), 写出主成分 1(Y_1)、主成分 2(Y_2)、主成分 3(Y_3) 的函数表达式:

$$Y_1 = 0.868X_1 + 0.826X_2 + 0.722X_3 + 0.951X_4 + 0.193X_5;$$

$$Y_2 = -0.038X_1 - 0.032X_2 - 0.234X_3 + 0.043X_4 + 0.969X_5;$$

$$Y_3 = -0.479X_1 + 0.337X_2 + 0.543X_3 - 0.296X_4 + 0.137X_5。$$

表 4 前 3 个主成分的方差贡献率和累积方差贡献率

Table 4 Variance proportion and cumulative variance proportion of three principal components

主成分 Principal components	特征值 Eigenvalue	贡献率 Proportion (%)	累计贡献率 Cumulative (%)
PRIN 1	2.899	57.986	57.986
PRIN 2	0.997	19.944	77.930
PRIN 3	0.744	14.886	92.817

由表 5 可以看出, 主成分 1 与单株材积相关性最高(相关系数为 0.951), 可把主成分 1 称为生长量因子; 主成分 2 与干形相关性最高(相关系数为 0.969), 可把主成分 2 称为干形因子; 主成分 3 与枝下高相关性最高(相关系数为 0.543), 可把第 3 主成分称为分枝因子。

表 5 桉树无性系生长性状相关阵的特征向量

Table 5 Eigenvectors of correlation matrix of growth traits among *Eucalyptus* clones

主成分 Principal components	性状 Growth traits				
	树高 X_1 Height (H)	胸径 X_2 Diameter at breast height (DBH)	枝下高 X_3 Live branches height (LBH)	单株材积 X_4 Individual volume (SV)	干形 X_5 Stem form (SF)
PRIN 1	0.868	0.826	0.722	0.951	0.193
PRIN 2	-0.038	-0.032	-0.234	0.043	0.969
PRIN 3	-0.479	0.337	0.543	-0.296	0.137

表 6 列出了 39 个桉树无性系主要生长性状的主成分值。第 1 主成分值排名前 6 的无性系分别为 649-9, 600-5, 650-5, 629-3, 569-2, 663-1, 表明这 6 个无性系生长迅速, 生长量大; 第 2 主成分值排名前 6 的无性系分别是 623-3, 664-2, 622-3, 612-3, 618-2, 613-1, 这些无性系干形品质较优; 第 3 主成分值排名前 6 的无性系分别为 567-4, 628-3, 645-4, 577-1, 562-2, 660-2, 这些无性系枝下高较高。

将 3 个主成分综合考虑, 分值最高的无性系为 567-4(综合分值为 3.07), 其次为 629-3, 631-2, 600-5, 645-4, 说明这 5 个无性系具有生长迅速、干形通直圆满等优良聚合性状; 综合分值最低的无性系为 667-1, 591-2, 564-3, 654-1, 626-4; 其它无性系则处于中等水平(表 6)。

表 6 39 个桉树无性系的主成分值(PCV)

Table 6 Principal component value (PCV) of 39 *Eucalyptus* clones

编号 Number	无性系 Clones	第 1 主成分值 PCV1	第 2 主成分值 PCV2	第 3 主成分值 PCV3	综合主成分值 PCV	综合排名 Rank
1	32-26	0.79	0.08	-0.18	0.69	17
2	562-2	-0.24	-2.08	1.31	-1.01	29
3	563-1	-1.72	0.68	-0.08	-1.12	30
4	564-3	-1.18	-0.78	-1.15	-3.11	37
5	565-3	0.21	0.11	-0.64	-0.33	23
6	567-4	0.39	0.56	2.12	3.08	1
7	569-2	1.08	-0.02	-0.18	0.87	16
8	577-1	0.10	0.28	1.44	1.82	6
9	591-2	-0.92	-1.33	-1.07	-3.32	38
10	600-5	1.73	0.18	0.29	2.21	4
11	604-2	-0.56	-0.30	-0.48	-1.34	33
12	612-3	-1.60	1.10	-0.01	-0.51	25
13	613-1	0.44	0.91	0.07	1.43	9
14	618-2	0.03	1.00	-0.06	0.98	15
15	622-3	-1.10	1.17	1.07	1.14	12
16	623-3	-2.03	1.44	-0.40	-0.99	28
17	626-4	0.47	-2.60	-0.40	-2.53	35
18	628-3	-1.21	-0.58	1.72	-0.07	22
19	629-3	1.46	0.59	0.71	2.75	2
20	631-2	0.90	0.75	0.61	2.26	3
21	634-2	-0.52	-0.39	-0.29	-1.20	31
22	645-4	-0.51	0.91	1.55	1.94	5
23	646-2	0.77	-0.76	1.13	1.14	11
24	648-2	-0.80	-1.57	0.08	-2.29	34
25	649-9	1.97	0.87	-1.73	1.11	13
26	650-5	1.50	0.73	-0.57	1.66	7
27	651-3	0.15	0.38	0.47	1.00	14
28	652-2	0.08	0.00	-0.09	-0.02	21
29	654-1	0.28	-0.97	-2.39	-3.08	36
30	658-1	-1.57	0.78	-0.43	-1.23	32
31	659-2	0.45	-0.03	-0.22	0.20	19
32	660-2	-0.49	-1.49	1.22	-0.76	27
33	663-1	0.97	-0.14	-0.72	0.10	20
34	664-2	-0.31	1.41	-1.61	-0.51	26
35	667-1	-1.21	-0.62	-1.75	-3.57	39
36	673-1	0.63	-1.63	0.51	-0.49	24
37	675-3	0.67	0.88	0.01	1.57	8
38	676-3	0.29	0.80	0.09	1.18	10
39	677-1	0.61	-0.31	0.03	0.32	18

3 讨论

本文中 39 个桉树无性系表现出不同的生长特性,无性系间的胸径、树高、单株材积、干形、分枝等均表现出显著差异。其它研究也发现类似结果^[11,15],这说明从现有无性系中筛选出优良无性系具有巨大潜力。桉树无性系各性状间通常具有一定关联性,如莫晓勇等^[16]发现干形指标与其产量存在极显著的负相关,而树高、胸径之间存在显著的表型和遗传相关。黄宝灵等^[17]也指出桉树木材密度与蓄积量、枝下高、木材纤维宽度和导管分子长度呈正相关关系,而与胸

径、单株材积、冠幅等呈负相关关系。本文中,树高最高的无性系 649-9,其单株材积也最大;胸径最大的 600-5 和 577-1,其单株材积也相对较大,说明桉树无性系树高、胸径与单株材积呈正相关。因此,可根据性状间的相关性,实现从单一性状到多个性状的遗传改良^[13]。在对多个表型性状进行改良时,应充分利用性状间的相关性,提高育种效率。然而,单一性状表现优良的无性系在桉树可持续利用和遗传育种方面也具有重要的价值,可对单一性状实施独立选择,也可进行联合选择以培育出具有多个聚合性状的优良无性系^[13]。

优良无性系除应具有速生性,还应具有优良的品质、树干通直圆满、抗逆性强以及较强的扦插繁殖能力等特点^[18]。本研究发现主成分分析结果与单个形状比较结果并不一致,单株材积排在前10的无性系与主成分分析综合分值较高的无性系重合的只有600-5、645-4;单方面表现最优的无性系(如单株材积最高的无性系649-9与干形得分最高的无性系623-3、664-2)在其它方面的排名则较为靠后。目前我国造林无性系品系较为单一、抗逆性相对较弱,无性系选育与开发进展缓慢。为了满足现代林业生产需要,今后无性系选育还需综合考虑生长周期、材性、抗逆性、经济成本等因素,由单一性状向多性状转变^[5,19,20]。

4 结论

随着桉树人工林的大面积扩展,选育优质品系是桉树速生丰产的保证。本文评价的39个桉树无性系在胸径、树高、单株材积、干形、分枝等方面均表现出显著差异;主成分分析综合表现最优的无性系为567-4、629-3、631-2、600-5、645-4,可作为速生优质无性系进行大面积推广;而无性系649-9、623-3、664-2、628-3在单株材积或材性单方面表现优秀,对未来桉树遗传育种及定向性状改良具有重要价值。

参考文献:

- [1] 彭兆平. 桉树人工林经营存在问题与丰产造林技术探讨[J]. 湖北林业科技, 2008, 149(1): 70-71.
Peng Z P. Discussion on problems and the planting technology of fast-growing and high-yield of *Eucalyptus* plantation[J]. Hubei Forestry Science and Technology, 2008, 149(1): 70-71.
- [2] Paquette A, Messier C. The role of plantations in managing the world's forests in the Anthropocene[J]. Frontiers in Ecology and the Environment, 2009, 8(1): 27-34.
- [3] 谢耀坚. 中国桉树人工林可持续经营战略初探[J]. 世界林业研究, 2003, 16(5): 59-64.
Xie Y J. Primary studies on sustainable management strategy of *Eucalyptus* plantation in China[J]. World Forestry Research, 2003, 16(5): 59-64.
- [4] 谢耀坚. 中国桉树育种研究进展及宏观策略[J]. 世界林业研究, 2011, 24(4): 50-54.
Xie Y J. Research progress on *Eucalyptus* breeding and its strategy in China [J]. World Forestry Research, 2011, 24(4): 50-54.
- [5] 项东云, 陈健波, 叶露, 等. 广西桉树人工林发展现状, 问题与对策[J]. 广西林业科学, 2007, 35(4): 195-201.
Xiang D Y, Chen J B, Ye L, et al. Status quo, existing problems and solutions about sustainable management of *Eucalyptus* plantation in Guangxi[J]. Guangxi Forestry Science, 2007, 35(4): 195-201.
- [6] Fenning T. Challenges and Opportunities for the World's Forests in the 21st Century [M]. Berlin: Springer Netherlands, 2014: 393-424.
- [7] 周群英, 李天会. 桉树杂交育种技术[J]. 桉树科技, 2007, 24(1): 49-51.
Zhou Q Y, Li T H. Cross breeding technique of *Eucalyptus* [J]. Eucalyptus Science & Technology, 2007, 24(1): 49-51.
- [8] 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.
Wu K M, Wu J Y, Gan S M. Hybridization and heterosis in *Eucalyptus* [J]. Guangdong Forestry Science and Technology, 2001, 17(4): 10-15.
- [9] Eldridge K G, Davidson J, Harwood C, et al. Eucalypt Domestication and Breeding [M]. New York: Oxford Science Publications, 1993: 162-180.
- [10] 林海球, 龙腾, 何国华, 等. 桉树无性系生长比较[J]. 广东林业科技, 2000, 16(1): 1-6.
Lin H Q, Long T, He G H, et al. Growth performance comparison of *Eucalyptus* clones[J]. Guangdong Forestry Science and Technology, 2000, 16(1): 1-6.
- [11] 徐建民, 李光友, 陆钊华, 等. 杂种桉无性系综合筛选试验研究[J]. 桉树科技, 2009, 26(2): 1-8.
Xu J M, Li G Y, Lu Z H, et al. Study on the selection from clones of *Eucalyptus* hybrids [J]. Eucalypt Science & Technology, 2009, 26(2): 1-8.
- [12] 周国福, 潘平开, 郑白, 等. 东门杂交桉选育初报[J]. 桉树科技, 2004(1): 32-38.
Zhou G F, Pan P K, Zheng B, et al. A preliminary report on resistance breeding of *Eucalyptus* excellent clones at Guangxi Dongmen Forest Farm[J]. Eucalypt Science & Technology, 2004(1): 32-38.
- [13] 陆钊华. 尾叶桉无性系选育研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2005.
Lu Z H. Selection and Breeding of *E. urophylla* Clones [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2005.
- [14] McKenney D W, Davis J, Turnbull J, et al. The impact of Australian tree species research in China[J]. ACIAR Economic Assessment Series, 1991, 12: 6-7.
- [15] 卢国桓, 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.
Lu G H, Lu Z H, Xu J M, et al. Growth performance comparison of *E. urophylla* clones[J]. Guangxi Forestry Science, 2004, 33(1): 42-44.

(下转第 599 页 Continue on page 599)

的数量分类与环境解释[J]. 植物生态学报, 2006, 30(3):383-391.

Liu Q F, Kang M Y, Liu Q R. Quantitative classification and environmental interpretation of forest tree species in Hungou, Zhongtiao Mountain[J]. Journal of Plant Ecology, 2006, 30(3):383-391.

- [19] 冯云, 马克明, 张育新, 等. 辽东栎林不同层植物沿海拔梯度分布的 DCCA 分析[J]. 植物生态学报, 2008, 32(3):568-573.

Feng Y, Ma K M, Zhang Y X, et al. DCCA analysis of plant species distributions in different strata of oak (*Quercus liaotungensis*) forest along an altitudinal gradient in Dongling Mountain, China[J]. Journal of Plant Ecology, 2008, 32(3):568-573.

(责任编辑: 陆 雁)

(上接第 592 页 Continue from page 592)

- [16] 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.

Mo X Y, Peng S Y, Long T, et al. The variation of main properties of different *Eucalyptus* clones and the synthetic evaluation[J]. Forest Research, 2003, 16(3):293-298.

- [17] 黄宝灵, 吕成群, 蒙钰钗, 等. 不同造林密度对尾叶桉生长, 产量及材性影响的研究[J]. 林业科学, 2000, 36(1):81-90.

Huang B L, Lv C Q, Meng Y C, et al. Effects of different planting densities on the growth, output and wood properties of *Eucalyptus urophylla* [J]. Scientia Silvae Sinicae, 2000, 36(1):81-90.

- [18] 申文辉, 李宏伟, 黄锡泽, 等. 广西东门桉树无性系选育研究[J]. 广西林业科学, 2004, 33(3):111-114.

Shen W H, Li H W, Huang X Z, et al. *Eucalyptus* clon-

al breeding at Guangxi Dongmen Forest Farm [J]. Guangxi Forestry Science, 2004, 33(3):111-114.

- [19] 钱国钦. 桉树生态问题及发展思路[J]. 湖南林业科技, 2007, 34(2):67-70.

Qian G Q. Ecological problem and development countermeasure of *Eucalyptus* [J]. Hunan Forestry Science & Technology, 2007, 34(2):67-70.

- [20] 陈李花, 曾炳山, 吕成群, 等. 中国桉树人工林可持续经营的问题与对策[J]. 广东林业科技, 2009, 25(2):78-83.

Chen L H, Zeng B S, Lv C Q, et al. The problems and solutions of *Eucalyptus* plantations' s sustainable management in China[J]. Guangdong Forestry Science and Technology, 2009, 25(2):78-83.

(责任编辑: 陆 雁)