

# 滇南亚高山巨桉种源/家系变异及早期选择研究

吴世军<sup>1</sup>, 陈广超<sup>1</sup>, 徐建民<sup>1\*</sup>, 李光友<sup>1</sup>, 栗国磊<sup>2</sup>, 罗成学<sup>2</sup>, 周兴荣<sup>2</sup>, 姜成<sup>2</sup>

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 热带林业研究国家林业局重点实验室, 广州 510520; 2. 云南云景林业开发有限公司, 云南 景谷 666499)

**摘要:** 为筛选滇南亚高山的巨桉(*Eucalyptus grandis*)优良品系, 对 53 月生的巨桉 11 种源 173 家系的生长性状进行分析。结果表明, 所有生长性状在种源和家系间均呈极显著差异; 胸径、树高、单株材积、干形、分枝和冠幅的表型和遗传变异系数分别为 26.90%~28.84%、23.84%~25.28%、62.34~67.55、13.04%~25.62%、13.04%~25.41% 和 35.07~39.93, 各性状种源遗传力为 0.94~0.96, 家系遗传力为 0.88~0.95。相关分析表明, 胸径与树高、单株材积、干形和冠幅呈极显著正相关, 树高与其他性状均呈极显著正相关关系, 干形与分枝的相关系数为 0.70, 冠幅与干形和分枝均呈负相关关系( $r^2=0.03$ )。单株材积的遗传增益始终最大, 以 5% 为入选率时, 遗传增益高达 66.11%; 入选率不同, 胸径与树高、干形与分枝的遗传增益的变化趋势基本相同, 但不同性状的遗传增益值的排序发生变化。以 10% 为入选率, 经综合指数选择有 17 个家系入选, 均来自 1 号(昆士兰 Copperlode)、4 号(昆士兰 Koombooloomba)、6 号(昆士兰 Copperlode Falls Dam)、7 号(昆士兰 Bambaroo)、9 号(福建天马东溪)和 11 号(四川乐山)种源, 2 号(昆士兰 Ravenshoe)和 8 号(昆士兰 Tully Gorge National Park)种源表现最差, 排前 6 名的家系为 289 号、283 号、2 号、42 号、121 号和 82 号, 也分别分布在入选种源中, 说明入选家系不仅生长优良而且遗传多样性比较丰富。

**关键词:** 巨桉; 生长性状; 形质性状; 遗传力

doi: 10.11926/jtsb.3692

## Variation Analysis and Early Selection for *Eucalyptus grandis* Provenances/Families in Central South Yunnan Province

WU Shi-jun<sup>1</sup>, CHEN Guang-chao<sup>1</sup>, XU Jian-min<sup>1\*</sup>, LI Guang-you<sup>1</sup>, SU Guo-lei<sup>2</sup>, LUO Cheng-xue<sup>2</sup>, ZHOU Xing-rong<sup>2</sup>, JIANG Cheng<sup>2</sup>

(1. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Key Laboratory of State Forestry Administration on Tropical Forestry Research, Guangzhou 510520, China; 2. Yunnan Yunjing Forestry Development Co. Ltd., Jinggu 666499, Yunnan, China)

**Abstract:** In order to select excellent strains of *Eucalyptus grandis*, the growth traits, quality traits and crown width of 173 families from 11 provenances at 53-month-old grown in alpestrine of south Yunnan were analyzed. The results showed that there were significant differences in growth traits, quality traits and crown width among provenances and families. The phenotypic and genetic variation coefficients of DBH, H, V, stem form, branch and crown width were 26.90%~28.84%, 23.84%~25.28%, 62.34~67.55, 13.04%~25.62%, 13.04%~25.41% and 35.07~39.93, respectively. The provenance heritabilities were ranged from 0.94 to 0.96 and the family heritabilities were ranged from 0.88 to 0.95. The correlation analysis showed that there were significant positive correlations between DBH with H, V, stem form and crown width, also between H with other traits. The correlation coefficient between stem form and branch were 0.70, while that between crown width with stem form

收稿日期: 2016-11-07

接受日期: 2017-01-04

基金项目: “十二五”农村领域国家科技计划项目(2012BAD01B0401)资助

This work was supported by the National Twelfth Five-Year Science and Technology Plan (Grant No. 2012BAD01B0401).

作者简介: 吴世军, 男, 博士, 林木遗传育种。E-mail: wushijun0128@163.com

\* 通信作者 Corresponding author. E-mail: jianmxu@163.com

and branch were  $-0.03$ . The genetic gain of V was the biggest among all traits, and it was 66.11% by 5% selection rate. The change trend of genetic gain in H, DBH, stem form and branch were similar under different selection rate whereas the rank of their genetic gain was different. The 17 families were selected under 10% selection rate by comprehensive index selection, which derived from No. 1 (Copperlode, QLD), No. 4 (Koombooloomba, QLD), No. 6 (Copperlode Falls Dam, QLD), No. 7 (Bambaroo, QLD), No. 9 (Tianma, Dongxi, Fujian), and No. 11 (Leshan, Sichuan) provenances. The provenances of No. 2 (Ravenshoe, QLD) and No. 8 (Tully Gorge National Park, QLD) grow slowly. The best six families were No. 289, No. 283, No. 2, No. 42, No. 121 and No. 82, derived from six selected provenances, indicating that the selected families not only had good growth and branch traits but also had rich genetic diversity.

**Key words:** *Eucalyptus grandis*; Growth trait; Quality trait; Heritability

桉树因具有生长快、适应性强、周期短、材质优良、易于无性繁殖和存在天然杂交种等特点, 而成为世界三大速生树种之一<sup>[1-6]</sup>。中国引种桉树始于 1890 年, 主要是用作庭院栽培和道路绿化, 并未经过选择和命名<sup>[7-12]</sup>。19 世纪 90 年代个体户和农民开始大面积种植桉树人工林<sup>[8]</sup>。早期成功引种和大规模推广的树种主要有窿缘桉(*Eucalyptus exserta*)、蓝桉(*E. globulus* ssp. *globules*)、柠檬桉(*C. citriodora*)、细叶桉(*E. tereticornis*)、赤桉(*E. camaldulensis*)和大叶桉(*E. robusta*)等。经过 30 多年选择和培育, 目前大面积推广的无性系人工林年产量可提高到  $20 \text{ m}^3 \text{ hm}^{-2}$ <sup>[13]</sup>, 其中巨桉(*E. grandis*)杂种无性系的接近 50%。巨桉属于高大乔木, 干形直; 粗糙树皮全部脱落后树干光滑, 银白色; 叶具叶柄, 成熟叶披针形, 镰状而下垂, 先端急尖; 伞形花序, 腋生, 花绿白色; 果梨形, 灰青色<sup>[8,14-15]</sup>。邱进清等<sup>[16]</sup>对 202 个巨桉种源和家系的生长性状、冻害等级和干形指标进行分析, 从单一性状看, 生长表现好的种源有 18595、18592、18590、18593、18569 和 18180, 耐寒力好的种源有 17713、18595 和 18592, 另外同一家系同一性状不同单株的表现也存在较大差异。

滇南亚高山地区四季如春、雨水充足, 且常年无台风影响, 是国内最适宜种植桉树的地区之一, 该地区大面积推广的无性系均为华南地区使用过的品系, 品系单一, 因此针对该区域开展巨桉的种源/家系试验具有重要意义, 可为本区域筛选最优单株开展无性繁殖奠定良好基础。本文通过对建立在普洱景谷的 11 个种源 173 个家系开展多性状的测定和综合评价, 分析性状的变异规律, 比较参试种源/家系的变化差异, 最终筛选出优良种源和家系, 为巨桉选育提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

试验点位于云南省普洱市景谷县牛尖山, 地理位置为  $100^{\circ}59' \text{ E}$ ,  $23^{\circ}61' \text{ N}$ , 属典型的南亚热带季风气候, 年均温  $20.3^{\circ}\text{C}$ , 年均降雨量 1245 mm, 多集中在 5-9 月份, 属夏秋湿冬春干型, 土壤类型为南方常见的山地红壤, 土层比较厚, 肥力中等。

### 1.2 方法

试验材料来自 11 个种源 173 个家系, 其中 3 个种源 31 个家系来自国内次生种源, 均为前期引种, 但具体种源已不清楚(表 1)。所有材料均为常规采种, 采用随机区组设计, 5 株小区, 8 次重复, 株行距为  $2 \text{ m} \times 3 \text{ m}$ 。人工挖  $40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm} \times 40 \text{ cm}$  的穴, 每穴施桉树专用肥 500 g, 尿素 100 g, 追施桉树专用肥 500 g, 造林前苗龄为 3 个月, 造林时间为 2011 年 7 月。于 2015 年 12 月调查树高(H, m)、胸径(DBH, cm)、干形(Stem form)、分枝(Branch)和冠幅(Crown, m)。将干形、分枝进行等级评定并进行打分<sup>[17]</sup>, 干形指标分 4 个等级, I 级(主干有 2 个弯曲), II 级(主干稍弯曲、不圆满), III 级(主干直、不圆满)和 IV 级(主干通直圆满), 分别赋值 1~4 分; 分枝指标分 3 个等级, I 级(有明显大枝、且分叉), II 级(分枝中等, 无明显大枝)和 III 级(分枝细小、且均匀), 分别赋值 1~3 分。

### 1.3 统计分析

单株材积( $V$ )= $H \times \text{DBH}^2 / 30000$ , 式中  $H$  为树高, DBH 为胸径。

综合指数选择法的公式为:  $I = w_1 h_1^2 (X_1 - \bar{X}) / \sigma_1 + w_2 h_2^2 (X_2 - \bar{X}) / \sigma_2 + \dots + w_i h_i^2 (X_i - \bar{X}) / \sigma_i$ , 式中,  $\bar{X}$  表示

表1 参试家系的种源信息

Table 1 Information of provenances and families

家系号 Family No.	种源号 Provenance No.	种子编号 Seed No.	纬度 (N) Latitude	经度 (E) Longitude	海拔 (m) Elevation	产地 Origin
2~6	1	5948	17°00'	145°40'	420	Copperlode, QLD
7	2	5948	17°50'	145°35'	740	Ravenshoe, QLD
8~21	3	K.5390~K.5403	17°03'	145°37'	650~800	Barron Gorge National Park, QLD
22~47	4	K.5409~K.5434	17°47'	145°32'	750~800	Koombaloo, QLD
48~72	5	K.5051~K.5075	17°05'	145°34'	900~1200	Tinaroo, QLD
73~89	6	COPPERLODE01~ COPPERLODE17	16°59'	145°40'	440~460	Copperlode Falls Dam, QLD
90~97, 99~131, 133~139	7	K.5000~K.5049	18°56'	146°07'	800~900	Bambaroo, QLD
140~144	8	K.5404~K.5408	17°43'	145°35'	850	Tully Gorge National Park, QLD
257~266, 268~272, 274~280, 282~285	9		24°22'	117°19'	400~700	福建天马东溪 Dongxi, Tianma, Fujian
286, 287, 291	10		30°07'	103°59'	400~800	四川黑龙滩 Heilongtan, Sichuan
288~290	11		29°57'	103°53'	450	四川乐山 Leshan, Sichuan

某性状组内平均值,  $h^2$  表示性状的遗传力,  $\sigma$  表示性状的标准差,  $w$  为选择性状的相对经济权重, 其中  $w_1+w_2+\dots+w_i=1$ 。

表型变异系数公式:  $CVP = \sqrt{\delta_p^2 / \bar{X}} \times 100$ , 式中:  $\delta_p^2$  为表型方差,  $\bar{X}$  为均值。

遗传变异系数公式:  $CV = \sqrt{\delta_g^2 / \bar{X}} \times 100$ , 式中:  $\delta_g^2$  为遗传方差,  $\bar{X}$  为均值。

遗传力公式<sup>[17]</sup>:  $R = \sigma_b^2 / (\sigma_b^2 + \sigma_w^2 / k)$ , 式中:  $\sigma_b^2$  为种源(家系)方差分量;  $\sigma_w^2$  为机误方差分量;  $k$  为重复数。

遗传增益<sup>[17]</sup>:  $\Delta G = R \cdot S \cdot \bar{X}^{-1}$ ,  $S$  为优良家系均值与对照均值的离差;  $\bar{X}^{-1}$  为对照平均值。

表2 性状的方差分析

Table 2 Variance analysis of studied traits

变量来源 Variance resource	自由度 Degree freedom	胸径 DBH	树高 Height (H)	单株材积 Volume (V)	干形 Stem form	分枝 Branch	冠幅 Crown
区组间 Between blocks	7	1.38	1.82	0.96	3.3**	6.15**	2.38*
种源间 Between provenances	10	18.19**	17.55**	17.85**	22.82**	16.88**	27.01**
家系间 Between families	121	9.52**	7.84**	9.36**	18.6**	18.6**	18.6**

\*\* :  $P < 0.01$ .

## 2.2 性状的遗传参数分析

从表3可见, 单株材积的表型变异系数最高, 达到67.55%, 其他性状的表型变异系数为25%~40%; 单株材积的遗传变异系数依然最高62.34%, 冠幅为35.07%, 胸径为26.90%, 干形和分枝为13.04%。单株材积的遗传变异系数大, 说明具有较大的选择潜力, 容易通过选择获得优良单株。另外,

采用SAS软件包对各性状进行方差分析和相关性分析<sup>[18]</sup>。将干形、分枝得分经反正弦变换后作统计分析。方差分析模型为:  $y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \gamma_i + \epsilon_{ij}$ , 式中:  $y_{ij}$  为观察值,  $\mu$  为总体平均值,  $\alpha_i$  为区组间,  $\beta_j$  为家系间,  $\gamma_i$  为种源间,  $\epsilon_{ij}$  为误差。

## 2 结果和分析

### 2.1 性状的方差分析

方差分析结果表明(表2), 所有性状在种源和家系间均呈极显著差异, 表明参试种源/家系差异较大, 可进一步开展优株选择; 树高、胸径和单株材积在区组间的差异不显著, 干形、分枝和冠幅在区组间均差异显著或极显著。

性状的遗传变异系数均小于表型变异系数, 但遗传变异系数与表型变异系数在性状间具有相同的变化趋势。各性状种源遗传力为0.94~0.96, 性状间差异不大; 家系遗传力为0.88~0.95, 冠幅的遗传力最高, 为0.95, 胸径、树高、单株材积、干形和分枝的遗传力分别为0.90、0.88、0.89、0.94和0.93, 表明均具有较高遗传力。

表 3 性状的遗传参数

Table 3 Variation and repeatability of studied traits

	胸径 DBH	树高 H	单株材积 V	干形 Stem form	分枝 Branch	冠幅 Crown
表型变异系数 Phenotypic variation coefficient (%)	28.84	25.28	67.55	25.62	25.41	39.93
遗传变异系数 Genetic variation coefficient (%)	26.90	23.84	62.34	13.04	13.04	35.07
种源遗传力 Provenance heritability	0.95	0.94	0.94	0.95	0.94	0.96
家系遗传力 Family heritability	0.90	0.88	0.89	0.94	0.93	0.95

### 2.3 性状的相关分析

相关性分析结果表明(表 4), 生长性状间均呈极显著正相关。胸径与树高、单株材积、干形和冠幅呈极显著正相关, 表明胸径越大, 树越高, 单株材积越大, 干形越直, 同时冠幅也越大; 树高与其

他性状均呈极显著正相关, 表明树越高, 胸径越大, 单株材积越大, 干形越通直, 分枝越均匀, 但冠幅也越大; 干形与分枝的相关系数为 0.70, 仅次于树高与胸径的; 冠幅与干形和分枝均呈负相关关系, 但不显著。

表 4 性状的相关性分析

Table 4 Correlation coefficient among traits

	胸径 DBH	树高 H	单株材积 V	干形 Stem form	分枝 Branch
树高 H	0.84**				
单株材积 V	0.93**	0.86**			
干形 Stem form	0.26**	0.27**	0.29**		
分枝 Branch	0.14	0.20**	0.17	0.70**	
冠幅 Crown	0.42**	0.32**	0.39**	-0.03	-0.05

\*:  $r_{0.05}=0.178$ ; \*\*:  $r_{0.01}=0.232$

### 2.4 性状的遗传增益分析

从图 1 可见, 在不同入选率下, 单株材积的遗传增益均最大, 以 5% 为入选率时, 其遗传增益高达 66.11%; 以 10%、15%、20%、25%、30% 为入选率时, 其遗传增益分别为 48.68%、39.34%、32.59%、27.02%、22.47%; 以 50% 为入选率时仍然可以获得 11.39% 的遗传增益。胸径与树高遗传增益的变化趋势基本相同, 但是不同入选率的胸径遗传

增益均大于树高遗传增益。干形与分枝的遗传增益变化趋势和增益值非常相近, 说明这两个性状选择效率非常相似。不同入选率时, 性状获得的遗传增益排序有所变化, 以 5% 为入选率时, 排序为单株材积 > 胸径 > 树高 > 干形 > 分枝, 以 20% 为入选率时, 单株材积遗传增益最大, 树高、胸径、干形和分枝的遗传增益相近, 约为 10%~12%。

### 2.5 种源/家系的综合指数选择

本研究在综合选择时重点考量生长指标兼顾形质指标, 希望获得生长迅速、干形通直圆满、分枝均匀且冠幅较小的家系, 因此将单株材积、干形、分枝和冠幅 4 个性状指标的加权系数分别设为 0.6、0.25、0.25 和 -0.1。经过综合排名(表 5), 最好的为 1 号种源; 其次是 11 号和 4 号种源; 2 号和 8 号种源最差, 综合得分为负值。单株材积方面, 生长最快的为 11 号种源, 但综合排名第二, 原因是其形质指标和冠幅均低于 1 号种源, 1 号种源单株材积是 2 号种源的 2.64 倍。

参照遗传增益结果, 以 10% 作为入选率, 对参试家系进行综合排序。结果表明(表 6): 入选的 17

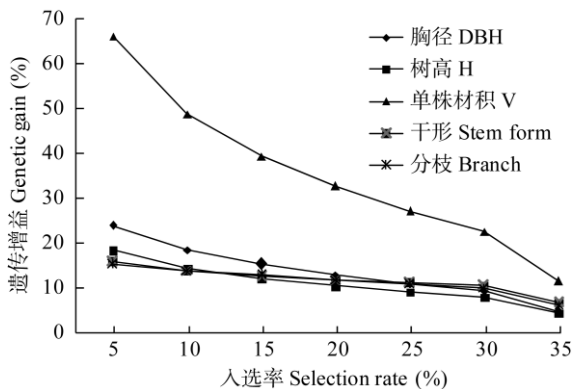


图 1 性状在不同入选率下的遗传增益

Fig. 1 Genetic gain of traits under different selection rates

个家系来自1号、4号、6号、7号、9号和11号种源, 排名前6名的家系为289号、283号、2号、42号、121号和82号。参试家系的单株材积、干形、分

枝、冠幅和分值分别为0.0538 m<sup>3</sup>、3.38、2.56、3.34 m和-0.0109, 入选家系的单株材积、干形、分枝、冠幅和分值分别为0.0830 m<sup>3</sup>、3.62、2.71、3.29 m和0.1556。

表5 种源的综合指数排序

Table 5 Comprehensive index rank of provenances

种源 Provenance	单株材积 V (m <sup>3</sup> )	干形 Stem form	分枝 Branch	冠幅 Crown (m)	分值 Score
1	0.0643	3.49	2.69	3.03	0.1235
11	0.0739	3.02	2.40	3.90	0.1222
4	0.0550	3.51	2.61	3.15	0.0710
7	0.0595	3.25	2.46	3.44	0.0701
6	0.0557	3.38	2.60	3.28	0.0668
10	0.0566	3.44	2.48	3.59	0.0617
3	0.0543	3.34	2.51	3.16	0.0559
5	0.0483	3.57	2.70	3.04	0.0463
9	0.0470	3.32	2.53	3.05	0.0207
8	0.0458	3.20	2.40	4.04	-0.0156
2	0.0244	2.00	2.00	3.28	-0.1770

表6 入选家系的综合指数排序

Table 6 Comprehensive index rank of selected families

家系 Family	种源 Provenance	单株材积 V (m <sup>3</sup> )	干形 Stem form	分枝 Branch	冠幅 Crown (m)	分值 Score
289	11	0.1255	4.00	3.00	4.00	0.3732
283	9	0.1232	3.50	2.75	4.00	0.3292
2	1	0.1044	3.64	2.74	3.86	0.2441
42	4	0.0823	3.78	2.79	2.53	0.1919
121	7	0.0933	3.41	2.71	4.00	0.1718
82	6	0.0708	3.73	3.00	2.40	0.1477
136	7	0.0865	3.65	2.67	4.16	0.1392
75	6	0.0726	3.85	2.87	3.11	0.1272
137	7	0.0664	3.91	2.89	2.40	0.1269
43	4	0.0730	3.65	2.85	3.15	0.1187
124	7	0.0653	3.80	2.86	2.47	0.1129
119	7	0.0653	3.71	2.74	2.58	0.0991
40	4	0.0804	3.36	2.34	3.67	0.0989
114	7	0.0807	3.19	2.31	3.56	0.0967
4	1	0.0682	3.52	2.76	2.87	0.0961
74	6	0.0713	3.74	2.65	3.59	0.0867
91	7	0.0822	3.09	2.09	3.66	0.0854
入选平均 Selected mean		0.0830	3.62	2.71	3.29	0.1556
总体平均 General mean		0.0538	3.38	2.56	3.34	-0.0109

### 3 结论和讨论

通过对53月生11种源173家系开展生长、形质和冠幅调查研究, 所有性状在种源/家系间均差异极显著, 表明参试种源/家系的性状表现差异很大, 根据不同选育目标进行选择将获得较好增益。有研究表明生长性状在巨桉(*E. grandis*)种源和家系间均差异极显著<sup>[12,16]</sup>。张婕<sup>[12]</sup>对建立在广东连山的巨桉种源/家系进行22月生和50月生的生长测定,

结果表明所有性状在种源/家系间均差异极显著。

单株材积的表型和遗传变异系数最大, 均大于60%, 可能与树高和胸径的变异通过乘积得到扩大有关; 其他性状的变异系数为15%~40%, 与前人的研究结果一致<sup>[12]</sup>。所有性状均具有较高种源和家系遗传力, 冠幅的家系遗传力最高, 为0.95, 说明受遗传控制较强, 胸径、树高、单株材积、干形和分枝的家系遗传力分别为0.90、0.88、0.89、0.94和0.93, 同样具有较高遗传力。这略高于前人的结

果<sup>[12,19]</sup>,可能与区域环境有关,也与不同品种相关。廖柏勇<sup>[19]</sup>报道 1~5 年生的粗皮桉(*E. pellita*)的遗传力不足 0.1,遗传力的差异与树种有关,也可能是由于前期试验地的疏伐造成的。

相关分析结果表明,胸径与树高、单株材积、干形和冠幅呈极显著正相关,表明参试种源/家系胸径越大,树越高,单株材积越大,干形越直,冠幅也相对越大,说明生长指标可与形质指标开展联合选择;树高与所有性状均呈极显著正相关,表明树越高,胸径越大,单株材积越大,干形越通直,分枝越均匀,冠幅也相对大一些,再次说明本研究可选出生长迅速、干形优良且分枝均匀的种源/家系。

通过比较性状在不同入选率下的遗传增益,5%~50%的入选率下单株材积的遗传增益始终最大,为 11.39%~66.11%。胸径与树高的遗传增益的变化趋势基本相同,干形与分枝的遗传增益的变化趋势和增益值均非常相近,表明在制定选择策略时要充分考虑性状间的响应规律。5%入选率时,性状间的遗传增益差异明显,20%入选率时,单株材积遗传增益最大,树高、胸径、干形和分枝的遗传增益非常相近,说明不同入选率时,性状的遗传增益值有所变化,同时不同性状遗传增益的排序也会受到影响,因此制定育种策略时应该首先确定选育目标。

利用综合指数选择,综合分析生长指标、形质指标和冠幅,结果表明,1号(昆士兰 Copperlode)和 11号(四川乐山)种源得分最高,2号(昆士兰 Ravenshoe)和 8号(昆士兰 Tully Gorge National Park)种源表现最差,综合得分为负值。以 10%作为入选率,对参试家系开展综合排序,入选的 17个家系均来自 1号、4号(昆士兰 Koombooloomba)、6号(昆士兰 Copperlode Falls Dam)、7号(昆士兰 Bambaroo)、9号(福建天马东溪)和 11号种源,入选家系单株材积、干形、分枝、冠幅和分值分别为 0.0830 m<sup>3</sup>、3.62、2.71、3.29 m 和 0.1556,排名前 6名的家系为 289号、283号、2号、42号、121号和 82号,也分别分布在 11号、9号、1号、4号、7号和 6号种源,说明入选家系不仅生长优良而且遗传多样性比较丰富。同时,也表明了早期引种保存的优良种源林分 11号和 9号(次生种源)具有极大的家系选择潜力。

## 参考文献

[1] XU D P, DELL B. Nutrient management of eucalypt plantations in

south China [M]// WEI R P, XU D P. *Eucalyptus* Plantations: Research, Management and Development. Guangzhou: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2012: 269–289.

[2] HUANG L B, DELL B. Database system approach for integrated plantation nutrition management [M]// WEI R P, XU D P. *Eucalyptus* Plantations: Research, Management and Development. Guangzhou: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2002: 290–300.

[3] DANUSEVIČIUS D, LINDGREN D. Clonal testing may be the best approach to long-term breeding of *Eucalyptus* [M]// WEI R P, XU D P. *Eucalyptus* Plantations: Research, Management and Development. Guangzhou: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2002: 192–209.

[4] MARTIN B. *Eucalyptus*: A strategic forest tree [M]// WEI R P, XU D P. *Eucalyptus* Plantations: Research, Management and Development. Guangzhou: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2002: 3–18.

[5] KIEN N D, JANSSON G, HARWOOD C, et al. Genetic control of growth and form in *Eucalyptus urophylla* in northern Vietnam [J]. *J Trop For Sci*, 2009, 21(1): 50–65.

[6] WARREN E, SMITH R G B, Apiolaza L A, et al. Effect of stocking on juvenile wood stiffness for three *Eucalyptus* species [J]. *New For*, 2009, 37(3): 241–250. doi: 10.1007/s11056-008-9120-9.

[7] MCKENNEY D W. Australian tree species selection in China [R/OL]. Impact Assessment Series Report, No. 8. Canberra: ACIAR, 1998. <http://ageconsearch.umn.edu/bitstream/47500/2/IAS08.PDF>

[8] QI S X. *Eucalyptus* in China [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2002: 34–55.

祁述雄. 中国桉树 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2002: 34–55.

[9] BAI J Y, XU J M, GAN S M. Genetic improvement of tropical eucalypts in China [C]// TURNBULL J W. *Eucalypts in Asia: Proceedings of an International Conference, held in Zhanjiang, Guangdong, People's Republic of China, 7–11 April 2003*. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research, 2003: 64–70.

[10] van BUEREN M. Eucalypt tree improvement in China [R/OL]. Impact Assessment Series Report No. 30. Canberra: ACIAR, 2004. <http://aciarc.gov.au/files/node/609/ias30.pdf>

[11] QI S X. *Applied Eucalypt Cultivation in China* [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 2007: 1–164.

祁述雄. 桉树栽培实用技术 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2007: 1–164.

[12] ZHANG J, CHEN G C, XU J M, et al. Comprehensive selection for *Eucalyptus grandis* provenances and families [J]. *J Trop Subtrop Bot*, 2016, 24(3): 280–286. doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2016.03.006.

张捷, 陈广超, 徐建民, 等. 巨桉种源/家系综合选择研究 [J]. 热带亚热带植物学报, 2016, 24(3): 280–286. doi: 10.11926/j.issn.1005-

- 3395.2016.03.006.
- [13] MO X Y, PENG S Y, LONG T, et al. Important traits and combined evaluation of eucalypt clones [M]// WEI R P, XU D P. *Eucalyptus Plantations: Research, Management and Development*. Guangzhou: World Scientific Publishing Co. Pte. Ltd., 2002: 102–108.
- [14] LU Z H. Genetic analysis and  $F_1$  selection of *Eucalyptus urophylla* intraspecific and interspecific crossing combinations [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2009: 1–134.  
陆钊华. 尾叶桉种内种间交配遗传分析及  $F_1$  选择研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2009: 1–134.
- [15] WU S J. Genotypic variation and selection in *Eucalyptus urophylla* and hybrid clones with *E. urophylla* [D]. Beijing: Chinese Academy of Forestry, 2012: 1–162.  
吴世军. 尾叶桉及其杂种无性系遗传变异与选择研究 [D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2012: 1–162.
- [16] QIU J Q, LAN H S, XIE G Y, et al. A primary report on the provenance/family trial on *Eucalyptus grandis* [J]. *Acta Agri Univ Jiangxi*, 2002, 24(4): 517–521. doi: 10.3969/j.issn.1000-2286.2002.04.021.
- 邱进清, 兰贺胜, 谢国阳, 等. 巨桉种源 / 家系引种试验 [J]. *江西农业大学学报(自然科学版)*, 2002, 24(4): 517–521. doi: 10.3969/j.issn.1000-2286.2002.04.021.
- [17] XU J M, LU Z H, LI G Y, et al. Study on integrated selection of provenances-families of *Eucalyptus tereticornis* [J]. *For Res*, 2003, 16(1): 1–7.  
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, 16(1): 1–7.
- [18] SAS Institute Inc. The TTEST procedure [C]// *SAS/STAT Guide for Personal Computers*. 6th ed. Cary, NC: SAS Institute Inc., 1985: 347–352.
- [19] LIAO B Y, LIU L T, MO X Y, et al. The selection analysis of 10-year-old *Eucalyptus pellita* provenance and family [J]. *J S China Agri Univ*, 2011, 32(4): 72–77, 81. doi: 10.3969/j.issn.1001-411X.2011.04.016.  
廖柏勇, 刘丽婷, 莫晓勇, 等. 10年生粗皮桉种源家系选择分析 [J]. *华南农业大学学报*, 2011, 32(4): 72–77, 81. doi: 10.3969/j.issn.1001-411X.2011.04.016.