

巨桉种源/家系综合选择研究

张捷¹, 陈广超^{1,2}, 徐建民^{2*}, 吴世军^{2*}, 朱映安², 曾远城³, 李利娜³

(1. 东北林业大学园林学院, 哈尔滨 150040; 2. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广州 510520; 3. 连山林场, 广东 清远 513200)

摘要: 为选择巨桉(*Eucalyptus grandis*)优良种源, 对其 13 个种源 177 个家系性状进行遗传分析。结果表明, 22 月生巨桉除生长量在区组间差异显著外, 其他性状在种源、家系和区组间均存在极显著的差异; 50 月生时各性状差异均达极显著水平。50 月生时, 单株材积位于前四的种源分别是 2 号(来自昆士兰州 Copperlode)、3 号(来自昆士兰州 Ravenshoe)、1 号(来自昆士兰州 N W Townsille)和 11 号(来自四川省黑龙滩)。50 月生时, 有 78 个家系的单株材积增长量超过总体家系平均值(0.08 m³), 位于前三的家系是分别为 2 号(来自 2 号种源)、156 号(来自福建天马东溪的 10 号种源)和 93 号(来自昆士兰州 Bambaroo 的 8 号种源)。50 月生巨桉的胸径、树高、单株材积、干形、分枝和冠幅的遗传力分别为 0.56、0.91、0.73、0.67、0.64 和 0.76; 这些性状的表型变异系数分别为 26.64%、29.37%、64.41%、17.58%、15.26%和 45.80%; 遗传变异系数分别为 25.94%、24.30%、60.97%、28.59%、26.07%和 42.96%。相关性分析表明, 冠幅和分枝呈较小的负相关, 其余各性状间均呈正相关性。结合生长指标和形质指标, 最终筛选出 4 个优良种源和 18 个优良家系。

关键词: 巨桉; 种源; 家系; 生长性状; 形质性状; 遗传力

doi: 10.11926/j.issn.1005-3395.2016.03.006

Comprehensive Selection for *Eucalyptus grandis* Provenances and Families

ZHANG Jie¹, CHEN Guang-chao^{1,2}, XU Jian-min^{2*}, WU Shi-jun^{2*}, ZHU Ying-an², ZENG Yuan-cheng³, LI Li-na³

(1. College of Landscape Architecture, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China; 2. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China; 3. Lianshan Forest Farm, Qingyuan 513200, Guangdong, China)

Abstract: In order to select excellent provenances of *Eucalyptus grandis*, the traits of 177 families from 13 provenances were analyzed. The results showed that the individual volume had significant differences among blocks ($P < 0.05$) at 22 months old, other traits were significantly different ($P < 0.01$) among provenances, families and blocks at 22 and 50 months old. The top three provenances of individual volume were No. 2 (came from Copperlode, QLD), No. 3 (came from Ravenshoe, QLD), No. 1 (came from N W Townsille, QLD) and No. 11 (came from Heilongtan, Sichuan) at 50 months old. Meanwhile, the volume increment of 78 families was bigger than the average of all families (0.08 m³), and the top three families were No. 2 (came from Copperlode, QLD, provenance No. 2), No. 156 (came from Tianma, Fujian, provenance No.10) and No. 93 (came from Bambaroo, QLD, provenance No.8). At 50 months old, the heritability of DBH, height, individual volume, stem form, branch and crown width were 0.56, 0.91, 0.73, 0.67, 0.64 and 0.76, respectively, while their phenotypic variation coefficients were 26.64%, 29.37%, 64.41%, 17.58%, 15.26% and 45.80%, and the genetic variation coefficients were 25.94%, 24.30%, 60.97%, 28.59%, 26.07% and 42.96%, respectively. The correlation analysis showed that

收稿日期: 2015-09-14 接受日期: 2015-11-30

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: 张捷, 男, 副教授, 博士, 硕士生导师。E-mail: zhangjie2067@163.com

* 通信作者 Corresponding author. E-mail: jianmxu@163.com; wushijun0128@163.com

the branch and crown width had negative correlation, others had positive correlation. Therefore, combing the growth traits and form quality traits, four superior provenances and eighteen superior families were selected.

Key words: *Eucalyptus grandis*; Provenance; Family; Growth traits; Quality traits; Heritability

巨桉(*Eucalyptus grandis*)属双蒴盖亚属横脉组^[1],原产于澳大利亚东部沿海地区,位于南纬 22°~32°,海拔 0~300 m,夏雨型,年降水量 1000~1700 mm,最热月温度 29°C~32°C,最冷月 5°C~6°C,喜温湿肥沃土壤。目前世界上很多国家都有引种栽培,我国的广东、广西、江西、云南、四川、海南、福建等地都有引种试验^[2]。巨桉具有速生、轮伐期短、适应性强的特点,同时干形通直,早期的树皮脱落呈现光滑洁白的树皮,引人注目,是南方各省重要的园林绿化、荒山绿化以及用材林树种。巨桉还可用于破坏地环境的改善,通过桉树根系的吸收作用,不仅可以有效改良土壤环境,还可打破元素形态间的平衡,将可能转化为植物吸收利用的元素形态现行转化吸收,进而消除对土壤的潜在威胁^[3]。工矿区、垃圾填埋场等土壤污染严重的地区,常常可见桉树作为景观生态恢复树种栽植,迅速形成绿化效果^[4]。巨桉木材可作人造板、造纸原料,亦用于矿柱、电杆和薪炭等,是华南地区 20 世纪 70、80 年代桉树引种及改良相当成功的树种。巨桉作为亲本培育的杂交种杂种优势明显,如 3 年生巨尾桉杂交优良组合的生长量可达 146.62 m³ hm⁻²^[5]。近 30 年来已选育出很多的优良种源及家系,同时,通过对优良单株进行控制授粉和无性繁殖,已培育出一批优良的纯种和杂种无性系^[6-8]。

国内外研究表明,对种源、家系或个体开展综

合选择,而非过度追求单一性状,将有利于树种的长期遗传改良^[9]。本试验通过对 13 个种源(4 个次生种源)177 个家系进行连续 4 年多的生长性状和形质性状的调查,对巨桉家系性状间的遗传变异和相关关系进行分析,结合生长性状和形质性状的指标,从中筛选出一批优良种源/家系,为后续的巨桉育种工作奠定基础。

1 试验地概况

试验地位于广东省清远市连山县沙坪镇,位于 112°5'31" E, 24°33'26" N。属于中亚热带季风气候,气候温和,热量适中,雨量充沛,年均气温 18.8°C,降雨量 1687~2400 mm,全年湿度大且比较稳定,平均相对湿度 82%。土壤由黄岗岩或砂岩风化而成的红壤和黄壤,土壤发育良好,地层深厚,土质疏松,土壤 pH 5~6^[10]。

2 材料和方法

试验材料来自 13 个种源或种子产地(表 1)的 177 个家系。试验采用随机区组设计,5 株小区,8 个重复,株行距为 2 m×3 m。人工挖 40 cm×40 cm×30 cm 的穴,每穴施桉树专用肥 750 g,追施桉树专用肥 350 g,造林前苗龄为 3 个月,造林

表 1 参试家系的种源信息

Table 1 Information of provenances and their 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
1	1	5948	19°01'	146°08'	880	N W Townsille, QLD
2~6	2	5948	17°00'	145°40'	420	Copperlode, QLD
7	3	5948	17°50'	145°35'	740	Ravenshoe, QLD
8~21	4	K.5390~K.5403	17°03'	145°37'	650~800	Barron Gorge National Park, QLD
22~47	5	K.5409~K.5434	17°47'	145°32'	750~800	Koomboolomba, QLD
48~72	6	K.5051~K.5075	17°05'	145°34'	900~1200	Tinaroo, QLD
73~89	7	COPPERLODE01~COPPERLODE17	16°59'	145°40'	440~460	Copperlode Falls Dam, QLD
90~139	8	K.5000~K.5049	18°56'	146°07'	800~900	Bambaroo, QLD
140~144	9	K.5404~K.5408	17°43'	145°35'	850	Tully Gorge National Park, QLD
145~170	10		24°22'	117°19'	400~700	福建天马东溪 Dongxi, Tianma, Fujian
171~173	11		30°07'	103°59'	400~800	四川黑龙滩 Heilongtan, Sichuan
174~176	12		29°57'	103°53'	450	四川乐山 Leshan, Sichuan
177	13		24°37'	117°46'	450	福建岩溪 Yanxi, Fujian

时间开始于 2011 年 5 月。分别于 2012 年 12 月对树高(H, m)、胸径(DBH, cm)等进行调查, 2015 年 4 月调查树高、胸径、干形(Stem form)、分枝(Branch)和冠幅(Crown, m)等。将干形、分枝进行等级评定并进行打分^[11], 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。

采用 SAS 软件包对树高、胸径、单株材积(m^3)、干形、分枝和冠幅等数据进行方差分析和相关性分析^[12]。将干形、分枝得分经反正弦变换后作统计分析。单株材积(V)计算公式为 $V=H \times DBH^2/30000$, 式中 H 为树高, DBH 为胸径。方差分析模型为: $y_{ij}=\mu+\alpha_i+\beta_i+\gamma_i+\varepsilon_{ij}$, 式中: y_{ij} 为

观察值; μ 为总体平均值; α_i 为区组间; β_i 为家系间; γ_i 为种源间; ε_{ij} 为误差。

3 结果和分析

3.1 性状的方差分析

对巨桉家系性状进行方差分析, 结果表明(表 2): 参试的 13 个种源 177 个家系各性状(树高、胸径、单株材积、干形、分枝和冠幅)在种源、家系和区组间均存在显著差异。22 月生时, 种源间单株材积和胸径的差异大于家系间, 但树高种源间的差异却略小于家系间, 50 月生时, 巨桉生长的各项性状指标差异性明显变大。种源间性状的差异程度明显大于家系间, 从良种选育的角度上, 种源层次上选择将比从家系层次的选择的潜力更大。

表 2 家系 22 月生和 50 月生性状的方差分析

Table 2 Variance analysis of families at 22 months old and 50 months old

月龄 Month	因子 Factor	自由度 DF	树高 Height	胸径 DBH	单株材积 Individual volume	干形 Stem form	分枝 Branch	冠幅 Crown
22	种源 Provenance	12	2.28**	2.31**	3.86**			
	家系 Family	163	2.59**	2.47**	2.29**			
	区组 Block	7	150.46**	53.66**	94.51*			
50	种源 Provenance	12	3.04**	2.33**	3.15**	2.81**	2.78**	4.08**
	家系 Family	163	2.75**	1.99**	2.18**	2.05**	1.64**	1.68**
	区组 Block	6	271.91**	9.92**	45.77**	29.75**	34.83**	71.81**

** : $P < 0.01$.

3.2 种源多重比较

对 22 月生和 50 月生种源的性状进行邓肯氏检验(表 3), 结果表明, 22 月生和 50 月生表现较为稳定的是 1 号和 9 号, 两次调查的生长量排名均比较靠前。2 号、3 号和 11 号种源早期生长不明显, 2 号种源在 22 月生时排名第五, 处于中等水平, 3 号和 11 号种源排名比较靠后, 但他们后期生长速度加快, 50 月生时已分别排名为第一、第二和第四。

50 月生时, 单株材积最好的种源是 2 号, 其次是 3 号和 1 号, 最差的是 12 号。2 号的单株材积、树高、胸径分别是 12 号的 1.49、1.23、1.15 倍。12 个种源中, 树高前三名分别是 2 号、11 号和 9 号, 分别为 15.98、15.48 和 15.41 m; 胸径前三名分别是 3 号、2 号和 1 号。形态指标中, 干形得分较高的前三名是 13 号、3 号和 12 号; 分枝得分前三名是 13 号、6 号和 8 号; 冠幅较小的是 11 号、13 号

和 6 号。

3.3 性状的遗传参数分析

各性状的遗传变异信息由历年的方差分析数据进一步处理即可得到。由表 4 可以看出, 不同性状间的遗传变异系数相差较大。22 月生和 50 月生的巨桉在树高、胸径和单株材积上的遗传变异系数基本一致, 较为稳定。50 月生巨桉的形态指标中, 干形、分枝和冠幅的遗传变异系数分别为 28.59%、26.07%和 26.07%。6 个性状的遗传力分别为 0.56、0.91、0.73、0.67、0.64 和 0.76, 胸径的遗传力最小, 树高的最大。

3.4 家系性状间相关分析

对 50 月生的巨桉家系性状进行相关性分析(表 5)。除冠幅和干形间呈显著正相关, 冠幅和分枝呈

表 3 种源的性状参数

Table 3 Multiple Rang Test of assessed provenances at 22 months old and 50 months old

月龄 Mouth	种源 Provenance	单株材积 Individual volume ($\times 10^2 \text{ m}^3$)	树高 (m) Height	胸径 DBH (cm)	干形 Stem form	分枝 Branch	冠幅 (m) Crown
22	13	2.48a	9.98a	7.94a			
	1	2.41ab	9.99a	7.6ab			
	9	2.31abc	9.74ab	7.74ab			
	7	2.28abc	9.68ab	7.65ab			
	2	2.24abc	9.61ab	7.65ab			
	10	2.18abc	9.54ab	7.53ab			
	5	2.16abc	9.65ab	7.59ab			
	4	2.09abc	9.59ab	7.52ab			
	3	2.08abc	9.24b	7.35ab			
	8	2.05bc	9.43ab	7.44ab			
	12	2.04bc	9.29ab	7.32ab			
	11	1.99bc	9.43ab	7.3ab			
	6	1.94c	9.29ab	7.25b			
50	2	9.90a	15.98b	12.73a	3.14ed	2.29a	5.26bc
	3	9.66ab	14.77b	13.02a	3.59ab	2.27a	6.24a
	1	9.60ab	15.25b	12.66a	3.00e	2.43a	6.24ab
	11	9.11ab	15.48b	12.59a	2.95e	2.39a	4.09d
	9	8.75abc	15.41b	12.14ab	3.23bcde	2.49a	4.57cd
	7	8.52abc	14.81b	12.13ab	3.16cde	2.48a	4.68cd
	13	8.48abc	15.02b	11.69ab	3.63a	2.57a	4.39cd
	5	8.38abc	14.75b	12.09ab	3.28abcde	2.48a	4.94cd
	10	8.36abc	14.94b	11.99ab	3.30abcde	2.39a	4.70cd
	8	8.21abc	14.69b	11.95ab	3.40abcde	2.52a	4.56cd
	4	7.74abc	14.87b	11.75ab	3.35abcde	2.49a	4.51cd
	6	7.61bc	14.40b	11.71ab	3.31abcde	2.56a	4.41cd
	12	6.66c	12.99c	11.03b	3.44abcd	2.39a	4.62cd

同列数据后不同字母表示差异显著($P < 0.05$)。下表同。

Data followed different letters within column indicate significant difference at 0.05 level. The same is following Tables.

表 4 家系性状的遗传参数

Table 4 Variation and repeatability of assessed families

	22 月生 22 months old			50 月生 50 months old					
	胸径 DBH	树高 Height	单株材积 Individual volume	胸径 DBH	树高 Height	单株材积 Individual volume	干形 Stem form	分枝 Branch	冠幅 Crown
表型变异系数 Phenotypic variation coefficient (%)	27.21	24.34	62.07	26.64	29.37	64.41	17.58	15.26	45.8
遗传变异系数 Genetic variation coefficient (%)	25.81	21.88	57.61	25.94	24.3	60.97	28.59	26.07	42.96
遗传力 Heritability	0.77	0.88	0.83	0.56	0.91	0.73	0.67	0.64	0.76

表 5 家系性状间表型相关系数

Table 5 Phenotypic correlation coefficient among traits in families

	胸径 DBH	树高 Height	单株材积 Individual volume	干形 Stem form	分枝 Branch	冠幅 Crown
胸径 DBH						
树高 Height	0.662**					
单株材积 Individual volume	0.911**	0.798**				
干形 Stem form	0.199**	0.087**	0.168**			
分枝 Branch	0.108**	0.041**	0.085**	0.574**		
冠幅 Crown	0.575**	0.509**	0.606**	0.034*	-0.072	

*: $r_{0.05}=0.062$; **: $r_{0.01}=0.081$.

弱的负相关外, 其他性状间均呈极显著正相关。这种相关性为性状的联合选择提供了理论支撑^[13]。

3.5 优良种源/家系的筛选

以单株材积生长量对 22 月生和 50 月生巨桉

177 个家系进行排序(表 6, 7)。结果表明, 22 月生时单株材积生长量前 20 名的优良家系中, 有 9 个家系在 28 个月后依然排在前 20 名, 分别为 2 号、156

号、84 号、160 号、144 号、4 号、161 号、67 号和 118 号。其中 2 号和 156 号的生长速度又快又稳定, 且始终占据前两名的位置。93 号、67 号、137

表 6 22 月生时单株材积排序前 20 名的优良家系性状平均值

Table 6 Traits of top 20 families according individual volume at 22 months old

家系 Family	树高 (m) Height	胸径 (cm) DBH	单株材积 ($\times 10^2 \text{ m}^3$) Individual volume	排名 Rank
2	11.13	8.93	3.06	1
156	10.79	8.52	2.91	2
87	10.62	8.32	2.86	3
84	10.63	8.48	2.75	4
148	10.45	8.37	2.75	5
74	10.38	8.38	2.74	6
160	10.41	8.20	2.70	7
104	10.40	8.30	2.70	8
105	10.65	8.51	2.68	9
26	10.57	8.29	2.66	10
150	10.32	8.27	2.64	11
78	10.15	8.11	2.62	12
144	10.06	8.18	2.60	13
4	9.96	8.18	2.59	14
158	9.99	8.09	2.59	15
107	10.33	8.29	2.57	16
161	10.08	8.09	2.55	17
8	10.29	8.15	2.53	18
67	10.12	8.11	2.52	19
118	10.19	7.99	2.52	20
总体家系均值 Mean of all families	9.51	7.48	2.11	
群体家系变幅 Rang of all families	7.20~11.13	5.73~8.93	0.86~3.06	

表 7 50 月时以单株材积排序前 20 名的优良家系性状平均值

Table 7 Traits of top 20 families according individual volume at 50 months old

家系 Family	树高 (m) Height	胸径 (cm) DBH	单株材积 ($\times 10^2 \text{ m}^3$) Individual volume	干形 Stem form	分枝 Branch	冠幅 (m) Crown	排名 Rank
2	19.09	14.71	14.31	3.13	2.38	6.09	1
156	17.12	14.04	12.22	3.11	2.39	6.11	2
93	16.73	13.83	12.21	3.56	2.70	5.42	3
67	17.14	13.76	11.70	3.45	2.59	4.77	4
137	17.32	13.63	11.60	3.26	2.63	5.53	5
125	17.30	13.53	11.19	3.48	2.48	5.33	6
16	17.48	13.24	11.14	3.11	2.46	5.46	7
160	16.97	13.31	10.72	3.56	2.67	4.88	8
4	15.81	13.33	10.71	3.00	2.56	5.14	9
88	16.36	13.07	10.65	3.28	2.44	5.82	10
161	15.68	13.16	10.58	3.58	2.71	4.57	11
84	15.97	13.46	10.50	3.14	2.67	5.10	12
149	16.65	12.99	10.42	3.05	2.43	5.95	13
144	16.13	13.46	10.38	3.43	2.57	4.96	14
118	16.85	12.92	10.34	3.46	2.69	4.96	15
68	16.26	13.49	10.34	3.48	2.44	4.80	16
83	15.96	12.81	10.29	3.45	2.65	4.95	17
38	16.03	13.00	10.29	2.96	2.38	5.88	18
126	16.20	13.08	10.22	3.33	2.42	5.44	19
28	15.97	12.70	10.22	3.07	2.37	5.20	20
总体家系均值 Mean of all families	14.76	11.97	8.00	3.31	2.48	4.65	
群体家系变幅 Rang of all families	11.47~19.09	8.20~14.71	2.00~14.00	1.00~4.00	1.00~2.86	3.07~6.24	

号、125号、16号等家系早期生长不明显, 排名比较靠后, 但中期生长加快, 50月生时已经跃居前7。

50月生巨桉家系的平均单株材积为 0.08 m^3 , 177个家系中共有78个家系超过总体家系平均值, 约占44%。第一名是2号家系(2号种源)的单株材积最大, 达 0.14 m^3 , 是最差家系96号(8号种源)的3.05倍, 是总体家系均值的1.74倍; 第二名是156号家系(10号种源), 单株材积为 0.12 m^3 , 是96号家系的2.61倍, 是总体家系均值的1.48倍。说明从种源和家系两个层次来选择, 都可以获得较满意的单株材积增益。但在形质指标的中, 生长量前两名的2号和156号家系的干形、分枝得分低于93号、67号和137号家系, 分别为3.13和2.38, 略低于家系的总体平均值3.31和2.48; 冠幅较大, 分别达到6.09和6.11 m, 大于平均值4.65 m。

以单株材积为主要参考指标, 结合形质指标对巨桉进行优良种源/家系的筛选。从13个种源中, 以30%的入选率选择, 首推2号和3号种源为优良种源, 1号和11号种源为良好种源。从177个家系中, 以10%的入选率选择, 可选取2号、156号、93号、67号、137号、125号、16号种源为优良家系, 160号、4号、88号、161号、84号、149号、144号、118号、68号、83号和38号为良好家系, 共18个家系为优良家系。以这些选定的种源/家系作为优良种植材料, 对后续的科学研究和林业生产均具有重要的利用价值。

4 结论和讨论

巨桉种源和家系在生长性状和形质性状的差异均极显著。22月生时, 种源间单株材积和胸径的差异大于家系间的, 但种源间树高的差异略小于家系间的。50月生时, 种源间性状的差异明显大于家系间, 单株材积最好的种源是2号(来自昆士兰州 Copperlode), 3号(来自昆士兰州 Ravenshoe)、1号(来自昆士兰州 N W Townsille)和11号(来自四川省黑龙滩)。2号种源的单株材积、树高、胸径分别是表现最差的12号种源的1.49、1.23、1.15倍。50月生时有78个家系的单株材积超过总体家系平均值 0.08 m^3 , 单株材积最大的家系是2号家系(来自昆士兰州 Copperlode的2号种源), 达 0.14 m^3 , 但在形质指标上表现略低于总体平均值。

50月生时巨桉的胸径、树高、单株材积、干形、分枝和冠幅的遗传力分别为0.56、0.91、0.73、0.67、0.64和0.76, 胸径的最小, 树高的最大; 干形、分枝和冠幅的遗传变异系数分别为28.59%、26.07%、26.07%。相关分析表明, 除冠幅和分枝呈弱的负相关外, 其他性状间均呈正相关。结合生长指标和形质指标, 从中选取了4个优良种源18个优良家系, 便于后续的科研和生产。

连山地区22月生巨桉试验林的平均树高为9.51 m, 平均胸径为7.99 cm; 50月生的平均树高为14.76 m, 平均胸径为11.97 cm。陈远乐在泉州五台山林场进行了32个种源139个家系巨桉的引种试验^[14], 两年生的平均树高为6.5 m, 平均胸径为5.75 cm; 4年生的平均树高为12.69 m, 平均胸径为12.8 cm。可见, 连山地区试验林早期的生长量明显优于泉州地区, 4年生时连山的巨桉树高生长量略高于泉州地区, 但胸径相近。在地理纬度上, 连山和泉州相近, 光热条件相似, 说明连山地区的巨桉在早期生长中有更强的适应性。

本文只是对连山地区的巨桉种源家系进行了研究, 今后还应扩大试验范围, 比较巨桉在不同地区和环境下的生长情况。桉树栽培范围广, 育种过程也要考虑耐寒性, 翁启杰等^[15]在桉树种源生长和耐寒性的联合选择上进行了研究。对筛选出来的优良种源和家系, 可建立种子园或采穗圃进行良种的繁育。也可对优良单株进行杂交授粉实验, 培育优良杂种。由于试验林的林龄仅为4年, 今后还需密切观察, 更加科学准确地选育优良种源/家系。

参考文献

- [1] WANG Q, WANG H R. Progeny testing and improvement strategy for exotic *Eucalyptus grandis* in China [J]. *Sci Silv Sin*, 1996, 32(6): 500-508.
王琦, 王豁然. 巨桉子代测定林与引种改良策略的研究 [J]. *林业科学*, 1996, 32(6): 500-508.
- [2] QI S X. *Eucalyptus* in China [M]. Beijing: China Forestry Publishing House, 1989: 1-49.
祁述雄. 中国桉树 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1989: 1-49.
- [3] SHI Y, LUO J. Improvement of mine environment by *Eucalyptus* plantation [J]. *J Anhui Agri Sci*, 2014, 42(2): 483-486. doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2014.02.060.
时彧, 罗杰. 桉树对矿山环境的改善 [J]. *安徽农业科学*, 2014,

- 42(2): 483–486. doi: 10.3969/j.issn.0517–6611.2014.02.060.
- [4] WANG Y X, LI S S, LI H X. Photosynthetic physiological characteristics of *Eucalyptus* around garbage landfill [J]. Ecol Environ Sci, 2012, 21(5): 919–923. doi: 10.3969/j.issn.1674–5906.2012.05.021. 王艳霞, 李双双, 李华兴. 垃圾填埋场周边桉树光合生理特性研究 [J]. 生态环境学报, 2012, 21(5): 919–923. doi: 10.3969/j.issn.1674–5906.2012.05.021.
- [5] HU T Y, LI C K. Research on the introduction of *Eucalyptus grandis* provenance [J]. J Sichuan Agri Univ, 1999, 17(1): 44–49. doi: 10.3969/j.issn.1000–2650.1999.01.009. 胡天宇, 李臣坤. 巨桉种源引种选择研究 [J]. 四川农业大学学报, 1999, 17(1): 44–49. doi: 10.3969/j.issn.1000–2650.1999.01.009.
- [6] CHEN J B, LI C R, XIANG D Y, et al. Establishing optimal selection criteria for *Eucalyptus urophylla* and *E. grandis* [J]. Eucalypt Sci Techn, 2014, 31(2): 28–31. doi: 10.3969/j.issn.1674–3172.2014.02.005. 陈健波, 李昌荣, 项东云, 等. 尾叶桉、巨桉优树选择标准的建立 [J]. 桉树科技, 2014, 31(2): 28–31. doi: 10.3969/j.issn.1674–3172.2014.02.005.
- [7] HUANG D L, HUANG X M, CHEN H K, et al. Study on the introduction of *Eucalyptus grandis* [J]. J Fujian For Sci Techn, 2000, 27(S): 39–41. 黄德龙, 黄秀美, 陈洪坤, 等. 巨桉引种试验研究初报 [J]. 福建林业科技, 2000, 27(S): 39–41.
- [8] WANG H R, YAN H, ZHOU W L. Provenance trials and prediction of suitable planting area based on bioclimatic analysis for *Eucalyptus grandis* in China [J]. For Res, 1989, (5): 411–419. 王豁然, 阎洪, 周文龙. 巨桉种源试验及其在我国适生范围的研究 [J]. 林业科学研究, 1989, (5): 411–419.
- [9] BURGESS I P. Provenance trials of *Eucalyptus grandis* and *E. saligna* in Australia [J]. Silv Genet, 1988, 37(5/6): 221–227.
- [10] LU Z X, DENG W S. Problem analysis and countermeasures on forestland protection and using in Lianshan County of Guangdong Province [J]. CS For Invent Plan, 2009, 28(1): 16–18, 22. doi: 10.3969/j.issn.1003–6075.2009.01.005. 卢彰显, 邓文生. 广东连山县林地保护利用问题分析与对策 [J]. 中南林业调查规划, 2009, 28(1): 16–18, 22. doi: 10.3969/j.issn.1003–6075.2009.01.005.
- [11] 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. doi: 10.3321/j.issn.1001–1498.2003.01.001. 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. doi: 10.3321/j.issn.1001–1498.2003.01.001.
- [12] JOYNER S P. SAS/STAT Guide for Personal Computers [M]. Cary, NC: SAS Institute, 1985.
- [13] LU Z H, XU J M, LI G Y, et al. Study on multi-characters genetic analysis and selection index of 93 *Eucalyptus urophylla* clones [J]. Eucalypt Sci Techn, 2011, 27(1): 1–8. doi: 10.3969/j.issn.1674–3172.2010.01.001. 陆钊华, 徐建民, 李光友, 等. 93 个尾叶桉无性系多性状综合选择研究 [J]. 桉树科技, 2011, 27(1): 1–8. doi: 10.3969/j.issn.1674–3172.2010.01.001.
- [14] CHEN Y L. Studies on *Eucalyptus grandis* provenances from Australia [J]. J Fujian For Sci Techn, 2009, 27(S1): 29–31. 陈远乐. 澳大利亚巨桉种源试验初报 [J]. 福建林业科技, 2009, 27(S1): 29–31.
- [15] WENG Q J, LI J W, LI F G, et al. Selection on growth and cold tolerance in 11 *Eucalyptus* seedlots [J]. Guangdong For Sci Techn, 2012, 28(2): 46–50. doi: 10.3969/j.issn.1006–4427.2012.02.008. 翁启杰, 李建文, 李发根, 等. 桉属树种/种源生长与耐冻性的联合选择 [J]. 广东林业科技, 2012, 28(2): 46–50. doi: 10.3969/j.issn.1006–4427.2012.02.008.