

文章编号:1001-1498(2004)02-0220-06

韦塔桉种源多性状综合评价及 育种值的估算

陆钊华¹, 徐建民¹, 卢国桓², 赵汝玉², 黎元伟², 李光友¹

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520; 2. 广东省江门市新会区林业局, 广东 新会 529100)

摘要: 6个韦塔桉种源生长性状、形质性状的差异和遗传分析结果表明:种源间各性状的差异极显著,种源层次各性状遗传力为68.65%~93.45%,单株层次各性状遗传力为42.20%~82.63%,呈中等至强度遗传;除干形与保存率外,生长性状与形质性状均呈紧密的正相关。4.5年生时17831种源生长最优,平均单株材积达0.089 70 m³,比生长最劣的种源增加85.87%,17834种源形质指标最优,成活率与保存率最高。经综合评价,17834、17831和17835为较好种源。估算了6个种源的各个性状的育种值。

关键词: 韦塔桉;种源;综合评价;育种值

中图分类号: S792.39 **文献标识码:** A

韦塔桉(*Eucalyptus wetarensis* Pryor)是1995年Pryor等人在尾叶桉(*E. urophylla* S. T. Blake)分类学群体变异研究基础上命名出来的两个新种之一^[1~3](另一为高山尾叶桉(*E. orophila* Pryor)),原产印度尼西亚的韦塔岛,垂直分布250~1 900 m,叶形为窄披针形,基部开角小,方径。尾叶桉自20世纪80年代引入我国后,已在华南地区开展了系统的种源/家系试验,成为这一地区的主要栽培树种^[4]。韦塔桉为尾叶桉的近缘种,有相似的生长适应性与发展潜力,对其进行遗传改良研究,在华南地区桉树人工林的发展中具有重要意义。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验地位于广东省江门市蓬江区杜阮镇(23°34' N, 113°05' E),属南亚热带海洋性季风气候,年平均气温21.3~22.8℃,年日照时数1 719~2 430 h,无霜期333~363 d,年均降水量1 750.4 mm。试验地为低山坡地,花岗岩发育的红壤。前作为马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)疏林。有机质含量7.20 g·kg⁻¹,pH值4.10,全N、P、K含量分别为0.320、0.060、1.080 g·kg⁻¹,有效N、P、K含量分别为41.37、0.88、8.83 mg·kg⁻¹,有效B含量为0.315 μg·g⁻¹,代换性1/2Ca²⁺和代换性1/2Mg²⁺含量分别为0.38、0.56 mmol·kg⁻¹。林下植被主要有桃金娘(*Rhodomyrtus tomentosa* Hassk.)、芒箕(*Dicranopteris dichotoma* Bernh.)等。

收稿日期:2003-06-16

基金项目:世界银行贷款NAP和FRDPP项目“桉树速生丰产林培育技术的研究与推广”和广东省科委重点攻关项目“桉树纸浆材良种选育和栽培技术研究”内容之一

作者简介:陆钊华(1974—),男,广东肇庆人,助理研究员。

1.2 试验材料

参试的 6 个种源种子由澳大利亚 CSIRO 种子中心提供,其名称、种源号、地理分布如表 1。

表 1 韦塔桉种源的产地、地理位置和种子活力

种源号	采种母树/株	产地	纬度(°)S	经度(°)N	海拔/m	种子生活力/%	
17831	17	N of Ilwaki wetaris	印度尼西亚	7 52	126 27	515	98.43
17832	25	6k N of Arnau wetar	印度尼西亚	7 49	126 10	315	91.78
17834	10	N of Telemar sw wetar	印度尼西亚	7 54	125 58	180	85.02
17835	5	1k N of Carbubu wetar	印度尼西亚	7 56	125 53	175	76.56
17836	20	Sw of Uhak Ne wetar	印度尼西亚	7 39	126 29	350	95.01
17837	6	4k Nw old Uhak wetar	印度尼西亚	7 36	126 37	215	88.46

1.3 试验设计

1999 年 5 月,采用随机完全区组设计,3 次重复,4 行小区,每行 15 株。穴状整地,穴规格 60 cm × 50 cm × 40 cm,株行距 4 m × 1.5 m。造林时每穴施腐熟鸡粪 2.5 kg,磷肥 250 g 作基肥。造林 1 个月后调查成活率,以后每年进行生长指标的年度调查。干形指标分 4 个等级,级:主干通直圆满,得 4 分;级:主干直、不圆满,得 3 分;级:主干稍弯曲、不圆满,得 2 分;级:主干有两个以上弯曲,得 1 分。分枝指标分 3 个等级,级:分枝细小、且均匀,得 3 分;级:分枝中等,无明显大枝,得 2 分;级:有明显大枝、且分叉,得 1 分。

1.4 统计分析

单株材积(S_V)计算公式^[5]: $S_V = H \times D_{BH}^2 / 3$ (1)

采用 SAS 软件包和南京林业大学的林木遗传改良统计软件 SPQG Ver 3.0,对树高(H)、胸径(D_{BH})、单株材积(S_V)、保存率(S_{UR})、枝下高(B_H)、冠幅(C_W)、干形(S_F)和分枝(B_R)进行方差分析、相关分析^[6,7],并作遗传参数估算^[8]。成活率和保存率数据经反正弦转换,干形与分枝等得分值经平方根转换后进行统计分析。

种源生长性状综合评价,以 P_i 值小为优,公式^[9]: $P = \sqrt{\sum_j K_j (1 - a_{ij} / a_{oj})^2}$ (2)

式中 P_i 为第 i 个种源的综合评定值; K_j 为 j 个性状的权重系数; a_{ij} 为第 i 个种源第 j 个指标数据; a_{oj} 为第 j 个指标最优的种源数据。

估算预测育种值(\hat{g})的通用公式如下:

$$\hat{g} = \frac{Cov(g, y)}{var(y)} (y - a) + a$$
 (3)

式中 $\hat{g} = E(g)$, 为所有候选者的平均遗传值, $Cov(g, y)$ 为观测值(y)和遗传值(g)协方差, $var(y)$ 为观测值的方差, $a = E(y)$ 为所有观测值的期望值。

2 结果与分析

2.1 韦塔桉种源适应性

成活率及 4.5 年生保存率的方差分析结果(表 2)表明,种源间的差异极显著。所有种源造林成活率均在 89.2% 以上,4.5 年生存活率均在 81.1% 以上,17834 种源的成活率及保存率最高,达 98.8% 和 91.3%,分别比成活率最低的 17831 种源高出 9.6% 和 10.2% (图 1)。在育苗和造林的全过程中,各种源的苗期、幼林期和成林期对造林地气候及土壤均表现出良好的适应性,可在华南山地丘陵地区推广种植。

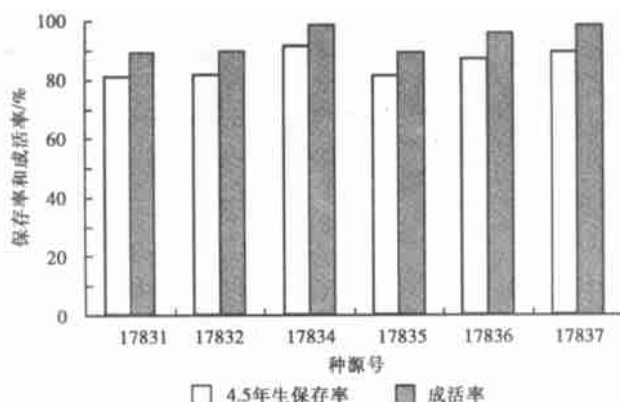


图1 不同种源成活率和4.5年生保存率比较

表2 韦塔桉种源间的成活率和4.5年生的保存率差异性分析

变因	自由度	成活率			保存率			F
		平方和	均方	F值	平方和	均方	F值	
区组间	2	19.033 0	9.516 5	0.44	11.106 9	5.553 5	0.80	$F_{0.05}(2,17) = 3.59$
种源间	5	698.534 0	139.706 8	6.46 **	218.746 7	43.749 3	6.32 **	$F_{0.01}(2,17) = 6.11$
误差	10	216.199 2	21.619 9		69.201 0	6.920 1		$F_{0.05}(5,17) = 2.81$
总计	17	933.766 1			299.054 7			$F_{0.01}(5,17) = 4.34$

注: **表示在0.01水平上差异显著。

2.2 参试种源生长、形质性状差异性分析

韦塔桉种源各性状历年方差分析结果(表3)表明:6个种源的各年度生长性状(树高、胸径和材积)和形质性状(干形、分枝、枝下高、冠幅)在种源间均存在极显著差异。为各性状在种源层次上的选择提供了依据,也就是说,通过比较,可以选择得到性状优良的种源。

表3 参试种源各性状历年方差分析结果

变因	DF	0.5 a 树高		1.5 a 树高		1.5 a 胸径		2.5 a 树高		2.5 a 胸径	
		MS	F值	MS	F值	MS	F值	MS	F值	MS	F值
区组	2	0.076 8	3.25	0.429 1	2.21	0.087 5	0.67	0.306 6	0.97	0.321 6	1.69
种源	5	0.188 6	7.98 **	0.738 7	3.80 *	0.414 8	3.19 *	1.036 9	3.29 *	0.686 4	3.61 *
变因	DF	3.5 a 树高		3.5 a 胸径		3.5 a 单株材积		4.5 a 树高		4.5 a 胸径	
		MS	F值	MS	F值	MS	F值	MS	F值	MS	F值
区组	2	0.162 8	0.84	0.481 3	1.93	0.000 03	1.72	1.929 2	3.74 *	1.701 7	6.84 **
种源	5	0.992 7	5.14 **	1.245 3	5.01 **	0.000 10	6.05 **	3.251 4	6.31 **	2.309 7	9.28 **
变因	DF	4.5 a 单株材积		干形		分枝		枝下高		冠幅	
		MS	F值	MS	F值	MS	F值	MS	F值	MS	F值
区组	2	0.000 4	5.35 *	0.002 6	0.71	0.006 2	1.71	0.186 7	1.88	0.055 6	2.36
种源	5	0.000 7	8.28 **	0.016 2	4.35 **	0.021 5	5.91 **	1.035 7	10.43 **	0.359 2	15.27 **

注: *表示在0.05水平上差异显著, **表示在0.01水平上差异显著。

4.5年生的各性状邓肯检验结果(表4)表明:17831种源生长表现最优,平均树高达15.20 m,平均胸径达13.28 cm,平均单株材积达0.089 70 m³,比最差种源17837分别大26.77%、

21.17%和 85.87%。17834 种源形质指标最优,干形得分达 3.165,分枝得分为 2.488,保存率达 91.3%,比最低值分别增加 25.35%、34.34%和 10.2%,充分说明通过种源选择可获得较大的生长量增益及多项形质指标的改善。

表 4 4.5 年生各性状邓肯检验结果

种源	单株材积/m ³	树高/m	胸径/cm	干形	分枝	枝下高/m	冠幅/m
17831	0.089 70 a	15.20 a	13.28 a	3.072 a	2.216 ab	4.17 a	2.88 a
17832	0.057 90 c	13.21 bc	11.45 bc	2.665 bc	1.968 bc	3.20 b	2.59 bc
17834	0.078 01 ab	13.77 b	12.92 a	3.165 a	2.488 a	3.93 a	2.83 ab
17835	0.064 96 bc	13.47 b	12.00 b	2.879 abc	2.030 bc	4.00 a	2.58 bc
17836	0.062 69 bc	13.19 bc	11.92 b	2.525 c	2.386 a	2.77 b	2.35 c
17837	0.048 26 c	11.99 c	10.96 c	2.999 ab	1.852 c	3.03 b	1.94 d

注:同列中相同字母表示差异显著($\alpha=0.05$)。

2.3 种源间性状遗传分析

根据方差分析结果,进一步获得不同性状的遗传变异信息。由表 5 可知:各性状历年的遗传变异有一定差异,生长量历年的变异基本保持稳定,种源层次各性状遗传力变化幅度为 68.65%~93.45%,单株层次各性状遗传力变化幅度为 42.20%~82.63%,其中 1.5 年生胸径遗传率最低,冠幅遗传力最高,各性状遗传力呈中等至强度大小,说明韦塔桉各种源的生长和形质指标在较大程度上受到遗传性的控制。此外,所有性状的种源遗传力均高于单株遗传力,因此通过在种源层次上的选择比基于单株的选择更能获得较大的遗传增益。

表 5 参试种源不同年龄多性状遗传分析结果

性状	树高					胸径			
	0.5 a	1.5 a	2.5 a	3.5 a	4.5 a	1.5 a	2.5 a	3.5 a	4.5 a
表型变异系数	9.62	8.63	6.96	5.11	7.09	7.72	5.74	6.08	6.86
遗传变异系数	6.30	8.33	6.08	4.35	5.33	6.57	5.35	5.26	4.13
种源遗传力	87.47	73.67	69.62	80.54	84.15	68.65	72.26	80.02	89.22
单株遗传力	69.95	48.25	43.31	57.98	63.89	42.20	46.48	57.18	73.40

性状	单株材积		其他性状				
	3.5 a	4.5 a	干形	分枝	枝下高	冠幅	保存率
表型变异系数	16.90	20.72	3.80	5.26	15.89	13.22	5.17
遗传变异系数	13.03	13.30	3.59	4.11	8.96	9.06	3.88
种源遗传力	83.48	87.92	77.02	83.08	90.41	93.45	84.18
单株遗传力	62.74	70.80	52.77	62.07	75.86	82.63	63.95

2.4 性状间相关分析

以 4.5 年生时种源小区生长及形质性状的平均值及保存率建立性状的表型和遗传相关矩阵(表 6),结果表明,韦塔桉种源树高、胸径、材积等生长性状与分枝性状、枝下高及冠幅的表型和遗传相关均呈较紧密至紧密的正相关关系;而干形、保存率与其他性状的表型和遗传相关不显著;保存率与所有性状间均表现为负相关关系。值得注意的是干形与生长性状及其他形质性状的相关不显著,相关系数值相对较低,表明该性状存在相对的独立性。相关矩阵为生长性状和形质性状的联合选择提供了正向响应选择基础。

表6 性状间表型相关矩阵(右上角)及遗传相关矩阵(左下角)

性状	树高(H)	胸径(D_{BH})	单株材积(S_V)	干形(S_F)	分枝(B_R)	枝下高(B_H)	冠幅(C_W)	保存率(S_{UR})
H		0.920 7 **	0.959 8 **	0.156 7	0.750 8 *	0.737 9 *	0.890 1 **	-0.420 8
D_{BH}	0.949 9 **		0.990 3 **	0.000 8	0.654 0	0.759 3 *	0.873 6 **	-0.056 5
S_V	0.973 8 **	0.994 6 **		0.068 1	0.677 1	0.771 8 *	0.877 9 **	-0.160 6
S_F	0.174 2	0.038 5	0.099 7		0.591 3	-0.138 8	-0.299 0	-0.350 0
B_R	0.924 3 **	0.804 7 **	0.823 7 **	0.641 3		0.314 8	0.492 5	-0.441 3
B_H	0.872 1 **	0.862 6 **	0.897 2 **	-0.187 3	0.447 5		0.766 2 *	-0.264 2
C_W	0.980 2 **	0.944 3 **	0.952 8 **	-0.443 4	0.523 5	0.830 7 **		-0.294 2
S_{UR}	-0.550 0	-0.076 7	-0.214 7	-0.318 4	-0.506 6	-0.228 9	-0.297 8	

注: $r_{0.05}=0.7067$, $r_{0.01}=0.7887$; *, ** 分别表示达到显著和极显著水平。

2.5 韦塔桉种源育种值的估计及综合评价

以遗传相关矩阵经正交变换求出特征根 λ_i 和特征向量 L_{ij} , 选择第一、第二主成分(累积贡献率 98.12%) , 则可得各性状对综合指标的贡献大小(权重系数 K_j) 为:

$$K_j = (H, D_{BH}, S_V, S_F, B_R, B_H, C_W, S_{UR}) = (0.448, 0.350, 0.379, 0.046, 0.306, 0.418, 0.325, 0.248)$$

根据公式(2)计算出各种源的 P_i 值, 同时利用 Blup 法估算种源的育种值, 以此作为韦塔桉种源综合评定的依据(表7)。种源的综合评定的平均值为 0.329 37, 标准差为 0.049 50。17831、17834 和 17835 等 3 个种源的 P_i 值最优, 接近于群体平均值减去一个标准差, 为速生性、形质指标和适应性均较好的种源。17837 种源的 P_i 值大于群体平均值加上 1 个标准差, 为慢生种源。在育种值的估算上, 优良种源各性状的数值较高, 与综合评定的趋势基本一致。

表7 参试种源 4.5 年生各性状育种值及综合评定

种源	Blup 法估算育种值								P_i 值	名次
	H	D_{BH}	S_V	S_F	B_R	B_H	C_W	S_{UR}		
17831	1.536 6	1.105 5	0.020 9	0.161 3	0.291 0	0.389 2	0.336 5	-3.709 0	0.288 3	2
17832	-0.234 5	-0.591 3	-0.008 3	-0.183 5	-0.166 8	-0.295 8	0.056 3	-3.294 3	0.372 1	5
17834	0.263 1	0.772 3	0.010 2	0.233 6	-0.108 1	0.607 1	0.288 7	5.411 2	0.283 6	1
17835	-0.000 5	-0.082 3	-0.001 8	-0.005 6	0.050 4	0.451 4	0.049 9	-3.504 6	0.296 1	3
17836	-0.249 3	-0.156 3	-0.003 9	-0.300 3	0.200 0	-0.700 5	-0.169 9	1.599 0	0.332 3	4
17837	-1.315 5	-1.047 9	-0.017 1	0.094 5	-0.266 6	-0.451 4	-0.561 6	3.497 7	0.403 8	6

3 结论

(1) 参试的 6 个种源在树高、胸径、单株材积等生长性状与干形、分枝、枝下高、冠幅等形质性状的种源间差异均达到极显著水平; 不同种源的成活率与 4.5 年生保存率均有显著差异, 均对造林地表现出良好的适应性。4.5 年生时 17831 种源生长表现最优, 平均单株材积达 0.08970 m^3 , 比生长最劣的种源增加 85.87%; 17834 种源形质指标最优, 成活率与保存率最高。

(2) 性状遗传分析表明: 韦塔桉种源的生长和形质性状呈中等至强度遗传, 以冠幅的遗传力最大, 达 93.45%; 由于单点试验, 受环境条件影响较小, 遗传力估算可能偏高。生长性状与除干形外的形质性状均呈紧密的表型正相关和遗传正相关, 干形及保存率与其他性状的相关不显著。

(3) 从种源综合评定值 P_i 和种源的生长性状、形质性状的育种值综合评价, 17831、17834 和 17835 为综合性状较好的种源。

(4) 韦塔桉于 20 世纪 90 年代初作为尾叶桉的种源引入我国, 现已在广东省新兴县进行了推广示范, 表现良好^[10]; 韦塔桉种源的遗传结构研究证明了其种源群体间存在较丰富的遗传多样性^[11], 为其世代改良奠定了物质基础。作为我国华南地区有较大发展潜力的树种, 建议进一步开展韦塔桉全分布区种源-家系试验研究, 引进和拓宽优良基因资源; 在优良种源中精选优良单株作为下一阶段的育种材料, 或作为杂交亲本进行控制授粉, 培育桉树新品种。

参考文献:

- [1] Pryor L D, Williams E R, Gunn B V. A morphometric analysis of *Eucalyptus urophylla* and related taxa with descriptions of two new species[J]. Australian Systematic Botany, 1995 (8) : 57 ~ 70
- [2] 王豁然. 桉树遗传资源与引种驯化[A]. 第十四届全国桉树专业委员会会议暨学术交流材料汇编[C]. 湛江, 1999
- [3] 徐建民, 白嘉雨, 陆钊华. 华南地区桉树可持续遗传改良与育种策略[J]. 林业科学研究, 2001, 14 (6) : 587 ~ 594
- [4] 梁坤南. 桉属树种/种源试验[J]. 林业科学研究, 2000, 13 (2) : 203 ~ 208
- [5] Mckenney D W, Davis J S, Turnbull J W, et al. The impact of Australian tree species research in China[J]. Canberra: ACIAR Economic Assessment Series, 1991 (12) : 6 ~ 7
- [6] SAS Institute. SAS/STAT User's Guide for Personal Computers[M]. Release 6.03 edition. Cary, NC, USA: SAS Institute, 1988
- [7] 叶志宏. SPQG 基本原理及使用指南[M]. 南京: 南京大学出版社, 1991
- [8] 马育华. 植物育种的量变遗传学基础[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1982. 280 ~ 333
- [9] 全国杉木种源试验协作组. 杉木造林区种源选择[J]. 林业科学研究, 1988, 1 (1) : 1 ~ 13
- [10] 黄文国, 廖新源, 黄恩. 四种桉树引种技术研究初报[J]. 热带林业, 2003, 31 (2) : 10 ~ 11
- [11] 潘天玲, 刘友全, 李坤平. RAPD 标记在韦塔桉种源遗传结构上的应用[J]. 生命科学研究, 2003, 7 (1) : 89 ~ 94

Study on Integrated Selection and Estimation of the Breeding Value in *Eucalyptus wetarensis* Provenances

LU Zhao hua¹, XU Jian min¹, LU Guo huan², ZHAO Rui yu², LI Yuan wei², LI Guang you¹

(1. Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou 510520, Guangdong, China;

2. Xinhui Forest Bureau, Jiangmen Xinhui 529100, Guangdong, China)

Abstract: The variance and genetic analysis results involving 6 *Eucalyptus wetarensis* provenances showed that there were highly significant differences in growth and other characteristics among provenances. The heritabilities of provenances and individuals ranged 68.65% ~ 93.45% and 42.20% ~ 82.63% for different characteristics studied, respectively. Growth characteristics were closely correlated with branch size (B_R) and under branch height (B_H) and crown (C_W) except stem form (S_F) and the rate of survival (S_{UR}). At an age of 4.5 year old, the mean value of individual volume (S_V) of the fastest provenance (No. 17931) was 0.089 70 m³ and 1.858 7 times of the worst provenance. The provenance (No. 17834) owned the best form characteristics and survival rate. By using synthetical evaluation, three good provenances (No. 17834, No. 17831 and No. 17835) were selected. Meanwhile, the breeding value of all provenances were also estimated.

Key words: *Eucalyptus wetarensis*; provenance; synthetical evaluation; breeding value