

细叶桉种源—家系选择*

梁坤南 周文龙

摘要 对细叶桉 3 个种源 50 个自由授粉家系的生长性状和形质性状进行种源间和家系间差异分析和家系遗传变异及相关分析,结果表明细叶桉主要性状种源间和家系间差异都极显著,种源间的差异大于家系间的差异,来自澳大利亚昆士兰州的 Laura 种源优于其它种源。细叶桉家系生长性状和形质性状呈中度至强度遗传;枝下高、干形和冠幅与生长性状遗传相关极显著。运用指数选择法对 50 个家系进行多性状综合选择,初步选出 5 个优良家系,可望获得 22.23%的综合遗传增益。

关键词 细叶桉、种源—家系、指数选择

细叶桉(*Eucalyptus tereticornis* Sm.)早在 1890 年就引进中国^[1],直至 80 年代初我国才开始进行较为系统的引种和种源试验。1982 年和 1985 年,中国与澳大利亚开始实施两个林业合作项目:“东门桉树示范林项目”^[1]和“澳大利亚阔叶树种引种与栽培试验”^[2],分别在广西东门林场和海南岛进行了大规模的桉树树种/种源试验,在种源试验的基础上选出细叶桉进行种源—家系试验。本文就建立在海南琼海县的细叶桉家系试验进行测定,研究细叶桉家系性状的遗传变异及相关关系,应用指数选择法^[2,3],对家系进行多性状的综合选择,筛选出一批优良的家系,为进一步的无性系育种研究和无性系造林提供材料,同时通过疏伐去劣,把子代测定林改建成初级种子园。

1 材料和方法

参试的 50 个细叶桉家系,分别来自澳大利亚昆士兰州 3 个种源区的天然林分,其中 Laura 种源 20 个家系,Kennedy 河种源 25 个家系,Helenvale 种源 5 个家系,种子由澳大利亚昆士兰州林业厅提供,种源产地概况见表 1。1988 年 3 月在海南岛琼海县国营上涌林场造林。大田采用完全随机区组设计,小区为单株家系,重复 26 次。前 3 a 调查树高(H)和胸径(DBH),4

表 1 细叶桉种源/家系产地概况

家系号	种批号	家系数	产地	纬度 (° ')	经度 (° ')	海拔 (m)	年降雨量 (mm)
001—020	13659	20	1 KM NORTH OF LAURA QLD	15 33	144 27	10	919
021—045	14802	25	KENNEDY RIVER QLD	15 34	144 02	140	1 600
046—050	14212	5	5-12 KM S HELENVALE QLD	15 45	145 15	500	1 733

1993—06—21 收稿。

梁坤南助理研究员,周文龙(中国林业科学研究院热带林业研究所 广州 510520)。

* 本研究为 1985~1992 年中国林业科学研究院和澳大利亚国际农业研究中心(ACIAR)资助的“澳大利亚阔叶树种引种与栽培试验”内容之一。参加试验工作的还有仲崇禄和杨曾奖。试验得到海南省琼海县国营上涌林场的大力支持,在此一并致谢!

1) E. G. Mannion, Wei Ju. An introduction to the dongmen eucalypt afforestation project. Forth Technical Exchange Seminar, Nanning, 1989.

2) 白嘉雨. 建立“澳大利亚阔叶树种引种与栽培试验”项目的意义及进展. 澳大利亚树种在中国的栽培和利用国际研讨会论文集. 广州, 1988.

年生时增加枝下高(*CBH*)、干形(*SF*)、冠幅(*CD*)和生长势(*GV*)等。干形和生长势采用评分法^[1]。由于细叶桉树冠多呈不规则,冠幅采用以下标准评分:5——冠幅大于2.5 m;4——冠幅在2.0~2.5 m之间;3——冠幅在1.5~2.0 m之间;2——冠幅在1.0~1.5 m之间;1——冠幅小于1.0 m。

室内计算单株材积(*SV*)和高径比(*RHD*)。单株材积公式^[4]为:

$$SV = H \cdot DBH^2 / 3$$

采用 GENSTAT 5^[5]语言对细叶桉种源和家系的树高、胸径、材积、高径比、枝下高、冠幅、干形和生长势进行方差、相关和遗传分析。应用指数选择法^[2],综合评定细叶桉家系。有关参数估算公式为:

$$\text{家系遗传力: } H_f^2 = \sigma_f^2 / (\sigma_f^2 + \sigma_e^2 / r) \quad (1)$$

$$\text{单株遗传力: } h^2 = 4\sigma_f^2 / (\sigma_f^2 + \sigma_e^2) \quad (2)$$

式中: σ_f^2 为家系的方差分量; σ_e^2 为机误方差分量; r 为重复数。

$$\text{指数函数式: } I = \sum_{i=1}^n b_i x_i = B'x \quad (3)$$

其中 I = 选择指数, $B = P_2^{-1} \cdot G_{21} \cdot A$, P_2 为选择性状的表型协方差矩阵, G_{21} 为选择性状的遗传协方差矩阵, A 为选择性状的相对经济权重。

2 结果与分析

2.1 种源和家系的适应性

造林后3个月的成活率调查, Laura种源和 Kennedy河种源的成活率较高, 分别为92.76%和92.8%, 而 Helenvale种源仅为81.82%。同样, 4年生 Laura种源和 Kennedy河种源的保存率高于 Helenvale种源, 分别为85.7%, 83.9%和64.9%, 前两个种源间差异不显著, 但与后者的差异显著。保存率降低的原因, 主要是历年受台风的影响。因此, Laura种源和 Kennedy种源有较强的适应性。

4年生细叶桉家系间保存率经方差分析达极显著。保存率达到100%的家系有: 013和043号; 保存率最低(46.2%)的家系有: 011和048号。

2.2 参试家系各性状差异分析

细叶桉3个种源和50个家系间历年的生长性状(树高、胸径和材积)以及4年生的形质性状(高径比、枝下高、干形和冠幅等)的差异都极显著。种源间和家系间各性状的极显著差异, 为种源一家系选择提供了依据。3个种源历年的生长和4年生形质均是 Laura种源最好, 4年生平均树高、胸径和单株材积分别为9.75 m, 7.57 cm和0.0207 m³, Kennedy河种源次之, 分别为9.20 m, 6.22 cm和0.0136 m³; Helenvale种源最差, 分别为6.73 m, 5.96 cm和0.0107 m³。最好种源的树高、胸径和材积是最差种源的1.45, 1.27和1.93倍; Laura种源的树高、胸径和材积都大于全试验林的平均水平(9.23 m, 6.77 cm和0.0163 m³), 其余两个种源都低于全试验林的平均水平。显然, 种源选择的效果要大大超过在慢生种源的家系选择, 通过种源选择可以获得较大的增产效益(表2)。

50个家系生长性状大于群体均值加2个标准差的家系, 树高生长有: 004、007、009、013、015、016、024、040、043和044, 其中 Laura种源占6个, Kennedy河种源占4个; 胸径有004、

007、008、009、015、016、017 和 020;材积有:004、005、007、008、009、013、015、016、017 和 020。

表 2 细叶桉各性状大小及历年方差分析结果

性 状	1988 年		1989 年		1990 年			1991 年		
	H	H	DBH	SV	H	DBH	SV	H	DBH	SV
重复(F 值)	3.46**	4.87**	4.63**	5.42**	7.05**	4.22**	6.00**	4.01**	2.88**	5.41**
种源(F 值)	42.23**	59.11**	33.03**	25.80**	52.72**	20.61**	24.04**	42.30**	26.41**	30.17**
家系(F 值)	12.81**	15.73**	10.54**	8.32**	19.73**	10.16**	8.98**	14.06**	9.71**	8.62**
Laura	1.71	3.69	2.98	0.001 2	6.34	5.31	0.006 6	8.74	6.79	0.001 5
Kennedy R	1.76	3.68	2.76	0.001 0	6.23	4.71	0.005 1	8.33	5.64	0.010 1
Helenvale	1.15	2.49	1.85	0.000 4	4.25	3.84	0.002 8	5.99	5.07	0.006 9
性 状	1992 年									
	H	DBH	SV	RHD	CBH	SF	CD	GV		
重复(F 值)	3.43**	2.63**	4.53**	3.21**	2.03**	2.63**	3.77**	2.27**		
种源(F 值)	32.37**	27.04**	30.00**	58.74**	46.32**	11.41**	11.36**	6.63**		
家系(F 值)	15.64**	9.69**	8.49**	13.84**	10.53**	4.48**	7.22**	7.29**		
Laura	9.75	7.57	0.020 7	1.32	5.44	1.95	4.48	4.76		
Kennedy R	9.20	6.22	0.013 6	1.52	4.43	1.59	4.02	4.43		
Helenvale	6.73	5.96	0.010 7	1.18	3.42	1.72	4.03	4.47		
F 理论值	$F(\text{重复})_{0.01}(25, 1 000) = 1.79$			$F(\text{种源})_{0.01}(2, 47) = 5.09$			$F(\text{家系})_{0.01}(49, 1 000) = 1.54$			

注:表中各性状单位:H(m);DBH(cm);SV(m³);CD(m);CBH(m)。

以上家系均来自 Laura 种源。由此可见,生长性状好的家系多集中出现于优良种源之中。

从表 2 还可看出,种源间的均方比大于种源内家系间的均方比,因此,种源间的差异大于种源内家系间的差异;家系间胸径和材积的 F 值 3 年生与 4 年生无显著变化,说明家系间胸径和材积生长秩次变化不大。但细叶桉家系是否在 3 年生时选择仍有待以后的观察,而在 2 年生时材积生长前 10 个家系与 4 年生时的比较,大不相同,说明 2 年生时有些家系的优良遗传品质尚未充分表现出来,若此时选择优良家系是不可靠的。况且 2~3 a 间的材积年生长量最大,此时家系生长最迅速,随后的 3~4 a 间的年生长量逐步恢复到 1~2 a 间的水平。在 50 个细叶桉家系中,来自 Laura 种源的家系 015,材积生长一直位居第一(表 3)。

表 3 材积生长前 10 名家系历年变化

(单位:m³)

排 序	1989 年		1990 年		1991 年		1992 年	
	家系号	SV	家系号	SV	家系号	SV	家系号	SV
1	015	0.001 79	015	0.009 11	015	0.019 86	015	0.025 85
2	007	0.001 43	004	0.007 81	016	0.019 18	004	0.025 14
3	004	0.001 42	016	0.007 78	004	0.017 92	016	0.024 49
4	016	0.001 41	007	0.007 15	020	0.016 85	020	0.023 51
5	005	0.001 39	005	0.007 06	007	0.016 06	009	0.022 71
6	038	0.001 37	009	0.006 98	005	0.015 64	005	0.022 21
7	010	0.001 32	041	0.006 94	010	0.015 63	007	0.022 17
8	041	0.001 28	010	0.006 90	009	0.015 51	013	0.021 26
9	013	0.001 26	038	0.006 83	017	0.015 46	008	0.021 12
10	035	0.001 25	013	0.006 76	008	0.015 41	017	0.021 09

2.3 细叶桉家系不同性状遗传分析

4 年生家系 8 个性状的遗传力为 60.04%~77.66%,呈中度至强度遗传,通过家系选择可望获得较大的遗传增益。8 个性状中,树高、胸径、冠幅和生长势的家系遗传力较高,尤其是树高受遗传控制最强,其家系遗传力为 77.66%;材积和高径比的遗传力居中;干形和枝下高的

遗传力较低。因单点分析,遗传力的估计可能偏高。8个性状的表型和遗传变异幅度分别为 14.66%~44.51%和 4.49%~18.14%,说明家系选择的潜力很大,尤其是材积和干形的遗传变异系数分别达 18.14%和 11.63%,而树高和高径比的遗传变异系数仅分别为 6.08%和 4.49%。因此,以遗传变异系数大的材积和干形作为家系的选择性状,相对于树高和高径比来说,选择效果会好些(表 4)。

表 4 细叶桉家系各性状的遗传分析

(单位:%)

性 状	1989 年			1990 年			1991 年			1992 年							
	H	DBH	SV	H	DBH	SV	H	DBH	SV	H	EBH	SV	RHD	CBH	SF	CD	GV
表型变异系数	16.14	24.90	54.09	15.39	23.73	53.59	17.73	26.29	61.04	17.97	25.73	31.47	14.66	29.66	44.51	19.69	16.55
遗传变异系数	4.98	7.64	15.94	5.58	8.45	17.14	5.74	8.69	17.95	6.84	8.50	18.14	4.49	8.50	11.63	7.00	6.14
家系遗传力	70.04	69.78	67.18	76.60	75.87	70.93	70.81	71.75	66.21	77.66	72.13	66.06	68.00	64.72	60.04	74.80	76.67
单株遗传力	38.97	37.64	34.73	52.59	50.76	40.90	41.97	44.72	34.61	58.02	43.63	34.68	37.60	32.87	27.33	50.59	55.19

对历年的生长性状进行遗传变异分析表明,树高的遗传力大于胸径和材积的遗传力,而遗传变异系数则以材积最大,树高最小;遗传力大的性状,其遗传变异系数就小;遗传力的年变化,树高的遗传力不稳定,但胸径和材积的遗传力第 3 年与第 4 年变化不大(表 4)。

2.4 家系性状间的遗传相关分析

由表 5 可知,生长性状(树高、胸径和材积)间存在高度的表型和遗传正相关,而与形质性状间的相关则较复杂。高径比与树高无显著的遗传相关($r_c=0.161$),而与其它性状呈负相关,若以高径比作为选择性状,会影响对其它性状的改良效果。枝下高、干形与生长性状存在极显著的遗传正相关,尤其是枝下高的遗传相关系数大,对选择有利。因此,选择生长性状好的家系,会间接地对枝下高和干形有改良作用。冠幅与材积、胸径呈高度的遗传正相关,胸径生长快的家系,冠幅也大(表 5)。

表 5 细叶桉家系不同性状之间的相关系数

性 状	树 高	胸 径	材 积	高径比	枝下高	干 形	冠 幅	生长势
树 高		0.80**	0.80**	0.01	0.71**	0.47**	0.49**	0.69**
胸 径	0.79**		0.98**	-0.57**	0.65**	0.57**	0.77**	0.82**
材 积	0.82**	0.99**		-0.47**	0.68**	0.54**	0.75**	0.76**
高径比	0.16	-0.47**	-0.42**		-0.12	-0.26	-0.60**	-0.48**
枝下高	0.81**	0.83**	0.87**	-0.47**		0.46**	0.36	0.52**
干 形	0.62**	0.81**	0.69**	-0.31	0.68**		0.42**	0.54**
冠 幅	0.59**	0.90**	0.90**	-0.61**	0.56**	0.69**		0.66**
生长势	0.70**	0.91**	0.86**	-0.51**	0.64**	0.79**	0.85**	

注:右上三角部分是各性状间的表型相关系数;左下三角部分是遗传相关系数。 $r_{0.01}=0.37$ 。

2.5 细叶桉家系多性状选择和综合分析

根据上述的遗传相关分析,以材积代表生长性状,枝下高和干形代表形质性状采用指数选择法对 50 个家系进行综合选择。

对 4 年生细叶桉家系的材积、干形和枝下高进行方差-协方差分析,分别求得性状的表型方差-协方差矩阵 P_2 和遗传方差-协方差矩阵 G_{21} :

$$P_2 = \begin{pmatrix} 41.958 & 1 & 1.794 & 3 & 4.408 & 3 \\ 1.794 & 3 & 0.263 & 2 & 0.238 & 9 \\ 4.408 & 3 & 0.238 & 9 & 1.008 & 8 \end{pmatrix} \quad G_{21} = \begin{pmatrix} 26.794 & 1 & 1.432 & 1 & 3.587 & 8 \\ 1.432 & 1 & 0.150 & 7 & 0.210 & 0 \\ 3.587 & 8 & 0.210 & 0 & 0.640 & 4 \end{pmatrix}$$

假定性状的经济权重为:材积:干形:枝下高=3:1:1,即 $A=(3,1,1)$,则

$$B = P_2^{-1} \cdot G_{21} \cdot A = \begin{bmatrix} 1.3885 \\ 4.1855 \\ 4.4538 \end{bmatrix}$$

∴ 指数选择函数式为

$$I = 1.3885 \cdot SV + 4.1855 \cdot SF + 4.4538 \cdot CBH \quad (4)$$

I 的表型方差 $\sigma_i^2=189.7984$, 遗传力 $h_i^2=71.58\%$, I 与聚合遗传型值的相关 $r_{Hi}=0.8346$, I 的效率 $E_i=49.86\%$ 。因相关系数比较高,所以指数的构造是比较成功的,利用该指数来改进材积、枝下高和干形能收到较好的效果。此外,指数遗传力比较大,也说明用这个指数具有较好的选择效果。

据公式(4),可求得各家系的指数值,其结果按大小汇于表6。群体的平均选择指数 $I=60.7$, 标准差 $\sigma_i=\sqrt{\sigma_i^2}=13.78$ 。因此,参试家系 I 值大于群体均值加一个标准差值的有 016、015、004、020 和 009 共 5 个家系,均来自优良的 Laura 种源,属于速生优质的家系。5 个家系 4 年生平均树高、平均胸径和单株材积分别为 10.17 m、8.10 cm 和 0.024 3 m³,分别是全试验林平均水平的 1.10、1.20 和 1.49 倍。5 个家系综合选择的遗传增益为 22.23%。参试家系 I 值小于群体均值减一个标准差值的有 050、046、048、045、034 和 044 等 6 个家系,属生长慢、形质差的家系,应予淘汰。对 I 值落在群体均值与均值加一个标准差间 ($\bar{I} < I < \bar{I} + \sigma_i$) 的家系,可进行家系内选择,选出优良的单株,以扩大群体的遗传基础。此外,家系选择指数大于群体平均值的家系有 24 个, Laura 种源就占 19 个。因此,为丰富家系的遗传基础,可适当从 Kennedy 河种源的家系中选择一些优良单株。

表 6 细叶桉家系的选择指数值

家系号	I 值	家系号	I 值	家系号	I 值
016	83.31	019	64.90	031	54.53
015	82.42	041	64.47	029	53.14
004	77.65	024	64.22	049	52.77
020	77.47	001	63.14	021	52.31
009	77.42	002	63.13	011	51.56
007	77.15	044	61.80	028	50.75
017	74.13	040	61.08	026	50.72
008	73.89	036	60.34	032	49.43
006	72.88	027	59.90	033	48.85
003	72.09	023	59.79	025	47.68
005	72.04	037	59.46	042	45.12
012	71.88	047	58.01	034	43.93
013	71.44	022	57.71	045	40.23
010	71.31	038	57.23	048	39.18
014	69.48	039	55.92	046	37.74
018	69.06	035	55.68	050	36.70
043	67.32	030	55.49	平均	60.70

3 小结与讨论

(1) 细叶桉种源间和家系间的生长性状和形质性状的差异都极显著,种源间性状的差异大

于家系间性状的差异。Laura 种源生长性状和形质性状均是最好的,其平均树高、胸径和单株材积是最差的 Helenvale 种源的 1.45、1.27 和 1.93 倍,通过种源选择可望获得较大的增产效益。

(2)4 年生的细叶桉家系生长性状的遗传力以树高遗传力最大,为 77.66%,遗传变异系数最小;材积的遗传力最小,但遗传变异系数最大。形质性状的遗传变异系数以干形最大,枝下高次之,高径比最小。以遗传变异系数大的性状作为选择性状,可望得到较大的遗传增益。枝下高和干形与生长性状呈极显著的遗传正相关。

(3)根据性状的遗传变异和相关分析,以家系的材积、干形和枝下高作为选择性状,对 50 个家系进行综合的指数选择法,初步选出 5 个遗传品质优良的家系:016、015、004、020 和 009,综合选择遗传增益为 22.23%。因此,单项选择材积、干形和枝下高的遗传增益分别为 35.19%、6.4%和 17.5%。试验林改建成初级种子园时,这些家系将作为主要保留的对象。建议在 5 年生时进行第一次间伐,在家系内和家系间强度选择,可根据巴西经验¹⁾,淘汰指数值小于群体均值的单株。因此,本试验林的第一次间伐强度为 50.75%,家系内单株选择(*I* 值大于群体均值)的结果,最好的 5 个家系 016、015、004、020 和 009 的单株入选率分别为 91.7%、87.0%、84.0%、84.0%和 72.7%。

参 考 文 献

- 1 祁述雄. 中国桉树. 北京:中国林业出版社,1989. 22~24.
- 2 黄金龙,孙其信,张爱民,等. 电子计算机在遗传育种中的应用. 北京:农业出版社,1991.
- 3 马育华. 作物育种的量变遗传学基础. 南京:江苏科技出版社,1982.
- 4 Mckenney D W, Davis J S, Turnbull J W, et al. The impact of Australian tree species research in China. Canberra: A-CIAR Economic Assessment Series, 1991, (12): 6~7.
- 5 Payne R W, Lane P W, Ainsley A E, et al. The Genstat 5 reference manual. Oxford University Press, 1989.

Study on Selections of Provenance and Family for *Eucalyptus tereticornis*

Liang Kunnan Zhou Wenlong

Abstract The analyses of differences among provenances and families, the genetic variation and genetic correlation on the growth and quality characters for 3 provenances and 50 open-pollination families of *Eucalyptus tereticornis* were carried out. The results showed there were highly significant differences among provenances and families on the main characters of *E. tereticornis*. The differences among provenances were bigger than those among families within provenance. Laura provenance from Queensland of Australia was superior to other provenances on the main characters. The growth and quality characters of *E. tereticornis* families were moderately or strongly hereditary. Branch height, stem straightness and crown had highly significant genetic correlations with the growth characters. The five families of *E. tereticornis* with fast growth and higher quality were selected by the Index Selection Method and the genetic gain in the selective index values reached 22.23%.

Key words *Eucalyptus tereticornis*, provenance and family, index selection

Liang Kunnan, Assistant Professor, Zhou Wenlong (The Research Institute of Tropical Forestry, CAF Guangzhou 510520).

1) 洪菊生, 刘复华, 黄东志, 等. 巴西桉树人工林栽培技术考察报告. 1991.