

尾叶桉种源/家系遗传变异与早期选择研究*

黄少伟¹⁾ 钟伟华¹⁾ 黄华喜²⁾ 黄凯²⁾ 陈青度³⁾ 李小梅³⁾

(1) 华南农业大学林学院, 510642, 广州; 2) 广东省遂溪县林业试验场, 524300, 广东遂溪;
3) 中国林业科学研究院热带林业研究所, 510520, 广州; 第一作者 36 岁, 男, 副教授)

关键词 尾叶桉; 种源; 家系; 遗传力; 遗传相关; 早期选择
分类号 S722.7

尾叶桉(*Eucalyptus urophylla* S. T. Blake) 是桉树中最速生的树种之一, 分布在印度尼西亚, 8~15 °S, 海拔 300~3 000 m。本世纪 20 年代已引入巴西。80 年代世界上一些国家开展了种源试验, 证明尾叶桉存在种源间、种源内变异^[1~3]。1965 年我国华南植物园引种 4 个种源, 80 年代中期在广西东门林场也开展了试验^[4]。为了把尾叶桉的选育种和遗传改良建立在科学的基础上, 加快改良进度, 本研究采用种源/家系两水平的试验方法, 一次性达到优良种源与家系的选择, 以指导今后尾叶桉的正确引种, 并将试验林改造成实生种子园, 同时为建立无性系种子园, 培养育下一代育种群体提供物质条件。

1 试验地自然条件

试验林建于广东省遂溪县林业试验场, 位于 21°25' N, 110°15' E。年均温 22.8 °C, 年积温 8 350 °C, 年均降水量 1 775.3 mm。试验地土质为浅海沉积沙壤土, 有机质含量 0.543%, 全 N 0.25%, 全 P 0.016%, 全 K 0.183%, pH 值 5.4。试验前作为窿缘桉(*E. exserta* F. Muell) 林, 原植被为稀树草原灌丛。

2 材料与方法

2.1 参试材料

参试种源(种批) 8 个, 家系 190 个, 其中 176 个由中国林科院热带林业研究所提供苗木, 种子来自澳大利亚 CSIRO, 直接采自天然林, 14 个为我国早期引入种批的后代。各种源的地理条件及其所包含的家系数列于表 1。

表 1 参试种源基本情况

种批号	产地	纬度/ (°)S	经度/ (°)E	海拔/ m	家系 数	种批号	产地	纬度/ (°)S	经度/ (°)E	海拔/ m	家系 数
17564	Mandiri Flores	8 15	122 58	410	25	17571	Wairteban	8 38	122 27	525	4
17565	Lewotobi Flores	8 32	122 48	375	55	17572	Iling Gele	8 37	122 27	600	8
17566	Wukoh Flores	8 35	122 35	600	5	17573	Andalan	8 36	122 28	725	4
17567	Egon Flores	8 38	122 27	450	85	17574	Jawagah ar	8 36	122 28	550	4

* 本课题为林业部遂溪林木良种基地建设(1990~1994 年)项目(林计 1986. 1. 117 号文)的研究内容之一。
1998-03-11 收稿。

2.2 试验方法

2.2.1 试验设计 试验设种源、家系两水平,随机完全区组,5次重复,8株1个小区。株行距 $2\text{ m} \times 4\text{ m}$ 。

2.2.2 测定 试验林1、1.5、2年生时,作每木调查,测定树高、胸径;3.5年生时,测定每木胸径。

2.3 统计分析方法

2.3.1 方差分析 方差分析的统计模型为: $Y_{ijkl} = \mu + B_j + P_i + F_k + BP_{ij} + BF_{ik} + \epsilon_{jkl}$,其中, Y_{ijkl} ——第*i*区组第*j*种源第*k*家系第*l*个单株的观察值; μ ——总平均值,固定效应; B_j ——第*i*区组的固定效应值; P_j ——第*j*种源的随机效应值; F_k ——第*k*家系的随机效应值; BP_{ij} ——第*i*区组与第*j*种源的随机互作效应; BF_{ik} ——第*i*区组与第*k*家系的随机互作效应; ϵ_{jkl} ——第*ijk*小区第*l*单株的机误。

2.3.2 遗传力估算 单株及家系平均狭义遗传力(h_s^2 及 h_F^2 表示)的计算公式分别为: $h_s^2 = (\sigma_F^2/r)/(\sigma_E^2 + \sigma_{BF}^2 + \sigma_{BP}^2 + \sigma_P^2 + \sigma_F^2)$, $h_F^2 = \sigma_F^2/(\sigma_F^2/bn + \alpha_{BF}^2/b + \alpha_F^2)$,其中*r*为子代间关系系数。本试验材料来源于天然林,据Griffin和Cotterill的研究^[5]桉树天然林中有30%的自交率,故本文取*r* = 1/2.5而非1/4。

2.3.3 年龄间生长相关 年龄间表型和遗传相关系数的计算公式分别为: $r_{P_1,2} = \sigma_{P_1P_2}/\sqrt{\sigma_{P_1}^2\sigma_{P_2}^2}$, $r_{G_1,2} = \sigma_{A_1A_2}/\sqrt{\sigma_{A_1}^2\sigma_{A_2}^2} = \sigma_{F_1F_2}/\sqrt{\sigma_{F_1}^2\sigma_{F_2}^2}$,其中, $r_{P_1,2}$ 和 $r_{G_1,2}$ 分别为同一性状年龄1和年龄2间的表型和遗传相关系数; $\sigma_{P_1P_2}$, $\sigma_{A_1A_2}$ 和 $\sigma_{F_1F_2}$ 分别为年龄1和2间的表型及加性遗传又积成分,以及估算的又积成分; $\sigma_{P_1}^2$, $\sigma_{A_1}^2$, $\sigma_{F_1}^2$ 和 $\sigma_{P_2}^2$, $\sigma_{A_2}^2$, $\sigma_{F_2}^2$ 分别为年龄1和2的表型方差=加性遗传方差及估算的方差成分。又积成分的估算:

$$(P_1 + P_2)^2 = P_1^2 + 2P_1P_2 + P_2^2,$$

$P_1P_2 = [(P_1 + P_2)^2 - P_1^2 - P_2^2]/2$,则 $\sigma_{P_1P_2} = (\sigma_{P_1+P_2}^2 - \sigma_{P_1}^2 - \sigma_{P_2}^2)/2$ 。同理,可估算 P_1 , P_2 及 $(P_1 + P_2)$ 的方差成分,然后计算出 $\sigma_{F_1F_2}$ 。

2.3.4 种源与家系选择 根据表现水平^[6]选择优良种源与家系,用于显著性*t*检验的统计量按下式计算: $t = (\bar{X}_i - X_{CK})/(S_i/n_i)$,其中, \bar{X}_i 为某种源或家系某性状的表型平均值, X_{CK} 为对照的表型值, S_i 及 n_i 分别为某种源或家系的标准差及株数。

统计分析用SAS/STAT软件进行^[7]。由于数据不平衡,用一般线性模型(GLM)进行方差分析,用限制性最大似然法(REML)估算方差成分,计算遗传力和遗传相关系数。

3 结果与分析

3.1 生长性状的遗传变异

以单株数据对各年龄的生长性状进行方差分析,结果如表2。所有性状,家系间均存在着极显著的差异,材积生长在种源间也存在着显著或极显著差异,显示出选择的潜力。

以单株数据估算各生长性状的遗传力,结果列于表3。表3显示,3个生长性状的遗传力均有随年龄增加而减小的趋势,树高的这种趋势最明显,胸径次之,材积的这种趋势较不明显,基本上是稳定的,显示出树高对环境的反应较之胸径和材积更敏感。

表2 不同年龄3个生长性状方差分析结果

变异来源	自由度	1年生			1.5年生			2年生			3.5年生
		H	D _{1.3}	V	H	D _{1.3}	V	H	D _{1.3}	V	D _{1.3}
种源	7	1.60	1.66	2.53*	2.43*	1.60	3.26*	2.39*	1.17	2.21*	1.67
家系	182	2.85*	2.88*	2.26*	2.89*	2.78*	2.13*	2.75*	2.41*	2.19*	2.14*
区组×家系	590	1.19*	1.20*	1.26*	1.10	1.18*	1.24*	1.04	1.14*	1.15*	1.14*

注: * 和** 分别表示在5%和1%水平上差异显著(下同); 机误自由度=3240~3658; F检验临界值: $F_{0.05}(7, 182) = 2.06$, $F_{0.01}(7, 182) = 2.73$, $F_{0.05}(182, 590) = 1.21$, $F_{0.01}(182, 590) = 1.31$, $F_{0.05}(590, 3240) = 1.11$, $F_{0.01}(590, 3240) = 1.15$ 。

表3 不同年龄3个生长性状的遗传力

性状	年龄(a)	H			D _{1.3}				V		
		1	1.5	2	1	1.5	2	3.5	1	1.5	2
单株		0.205	0.122	0.189	0.209	0.198	0.156	0.133	0.143	0.124	0.131
家系平均		0.599	0.480	0.577	0.601	0.590	0.509	0.460	0.488	0.458	0.457

3.2 种源/家系生长表现与选择

以3.5年生胸径为选择指标,以总平均胸径为对照的种源表现水平列于表4。限于篇幅,只列出显著大于总平均胸径的优良家系的表现水平(表5)。表4显示,胸径生长大于总平均的种批有4个,分别来自Lewotobi Flores(17565),Wairteban(17571),Andalan(17573)和Iling Gele(17572),可视为适合试验林所在地区生长的优良种源;其中17565极显著大于总平均,由于该种源参试家系众多(表1),更显出其生长优势具有代表性。

大于、显著和极显著大于总平均胸径的家系分别有84、15和8个,占参试家系的44.2%、7.9%和4.2%,可视为不同水平的优良家系。排名在107号家系之前(表5)的21个家系(含107号)中,部分家系达不到显著大于总平均的水平,是因为株数少或家系内变异大,因其家系平均值较高,仍应按优良家系看待。

表4 各种源表现水平及t检验结果

种源	水平得分	t值	自由度	种源	水平得分	t值	自由度	种源	水平得分	t值	自由度
17565	53.17	3.999**	1058	17572	50.21	0.112	204	17574	47.09	-1.117	89
17571	50.51	0.241	111	17564	49.94	-0.053	453	17566	46.64	-0.829	38
17573	50.24	0.092	74	17567	48.46	-2.805	1981				

注: t检验的自由度,为各种源的株数减2(下同)。

表5 优良家系表现水平及t检验结果

家系	水平得分	t值	自由度	家系	水平得分	t值	自由度	家系	水平得分	t值	自由度
51	72.84	5.460**	23	170	63.17	1.207	3	91	60.57	3.194**	25
88	70.62	3.993**	20	87	63.06	2.488**	23	185	60.21	2.388*	24
69	68.10	2.072	4	109	62.79	2.818**	24	20	60.08	2.304*	30
43	68.08	3.848**	26	53	62.60	2.082*	21	74	59.91	1.946	2
187	67.00	4.351**	30	56	62.44	2.337*	23	202	59.36	1.853	27
207	64.39	4.032**	31	11	61.21	1.196	13	80	59.25	2.249*	30
64	64.16	4.082**	23	48	60.97	1.469	3	107	58.91	2.278*	23

3.3 前后期生长相关与早期选择

由3个生长性状年度间的表型及遗传相关(表6)看,对家系而言,每一个遗传相关系数均比相应的表型相关系数大,表明遗传相关比表型相关更有效。表6显示,1,1.5与2年生3个年龄相互之间的相关性比较紧密,2年生与3.5年生之间的遗传相关非常密切,而1,1.5年生与3.5年生之间的遗传相关则相对较弱,即2年生是一个转折点。一般认为,林木的选择年龄应达到半个轮伐期为好,同时,为了加快世代周转,林木育种工作者又十分重视早期选择的研究,力求尽可能早地选出优良的育种材料,提高选育的效率。年度遗传相关是开展早期选择的基础。华南地区以纸浆材为经营目的的尾叶桉人工林,轮伐期一般在7a左右,因此,3.5年生的子代林已到了适合选择的年龄,从表6的结果看,尾叶桉的早期选择年龄可以定在2年生。

表6 3个生长性状不同年龄间的表型与遗传相关

年 龄	3.5年生		2年生			1.5年生			1年生		
	$D_{1.3}$	H	$D_{1.3}$	V	H	$D_{1.3}$	V	H	$D_{1.3}$	V	
3.5年生			0.813 3*			0.548 0			0.618 6		
			1.006 5			0.601 6			0.401 9		
2年生	0.895 2** 0.996 0				0.940 5**	0.753 9*	0.848 9**	0.912 9**	0.832 9*	0.841 3*	
					0.736 6	0.701 8	1.003 0	0.682 2	0.604 4	0.814 5	
1.5年生	0.676 8** 0.776 2	0.780 8** 0.876 1	0.824 0** 0.925 3	0.867 4** 0.898 9				0.956 3** 0.955 3	0.974 8** 1.020 2	0.985 1** 1.175 3	
1年生	0.646 9** 0.787 8	0.755 2** 0.882 6	0.788 3** 0.920 3	0.825 8** 0.979 2	0.930 3** 1.078 4	0.925 0** 1.019 4	0.962 3** 1.032 8				

注:表中上半部分为种源,下半部分为家系;数据上行为表型相关,下行为遗传相关。*和**分别表示在5%和1%水平上差异显著;临界值,种源: $r_{0.05}(6) = 0.706 7, r_{0.01}(6) = 0.834 3$;家系: $r_{0.05}(100) = 0.194 6, r_{0.01}(100) = 0.254 0$ 。

3.4 种源生长表现与引种

根据各种源在本地区的生长表现,可确定 Lewotobi Flores(17565)种源为本地区今后尾叶桉引种的重点,其次为 Wairteban(17571), Andalal(17573)和 Iling Gele(17572)种源,也必须引起重视。Egon Flores(17567)种源排名较后,但种源内分化严重,其中的优良家系仍可作为引入的对象。其中种源或因表现不佳,或因参试家系过少,其表现暂不足为引种的依据,在进一步试验以前,不宜继续引种。

3.5 家系生长表现与疏伐

本研究的主要目的是从试验走向良种生产,培育更高水平的育种群体,所以家系的去留,与此密切相关。从保留下一世代育种群体有较高的遗传基础看,以保留排名前84个家系为宜;从生产改良种子角度看,以保留排名前21个家系为佳;15个显著大于总平均的家系可作为改良种子园的候选材料;从8个极显著大于总平均的家系中可选择优良单株,培育无性系,供造林用。据此可对本试验林分期实施疏伐及选择。疏伐时保留的应是优良家系中胸径或材积大于总平均的优良单株。

4 小 结

(1) 参试的尾叶桉种源间在材积生长上有着显著差异;家系间树高、胸径及材积生长均存在极显著差异,能在种源及家系间进行有效的选择。

(2) 尾叶桉早期选择宜在2年生进行。由于本试验材料和数据的限制,这一结论有待进一

步试验验证。

(3) 尾叶桉种源/家系试验与实生种子园的建设相结合,大大缩短了育种周期,加快了育种进程,从本试验看,至少争取了 3~4 a 的时间,因尾叶桉栽植后第 2 年有少量植株开花结实,至第 4 年已有 50%左右的植株开花结实。在试验林 3~4 年生时改建成实生种子园,即可生产遗传上得到一定程度改良的种子。

参 考 文 献

- 1 Darrow W K, Roeder K R. Provenance trial of *Eucalyptus urophylla* and *E. alba* in South Africa: Seven-year results. South African For. J., 1983(125): 20~28.
- 2 Jacobs M R. 桉树栽培. 罗马: 联合国粮农组织, 1979. 622~625.
- 3 Ngulube M R. Provenance variation in *Eucalyptus urophylla* in Malawi. For. Ecol. & Manage., 1989, 26(4): 265~273.
- 4 Pegg P E, Gould K E, Stevens R E. 东门种源试验. 李海佳译. 热带林业科技, 1987(3): 55~61.
- 5 Griffin A R, Cotterill P P. Genetic variation in growth of outcrossed, selfed and open-pollinated progenies of *Eucalyptus regnans* and some implications for breeding strategy. Silvae Genetica, 1988(37): 124~131.
- 6 Harcher A V. The use of progeny test for evaluation of specific crosses. In: tree improvement course, N. C. S. U—Industry Cooperative Tree Improvement Program School of Forest Sources. N. C. S. U., Raleigh N. C. July 30, 1981, 184~187.
- 7 SAS Institute Inc. SAS/STAT User's Guide, Version 6, Fourth Edition, Volume 1 and Volume 2. Cary, NC: SAS Institute Inc., 1989, 891~996, 1661~1674.

Research on Genetic Variation and Early Selection of the Provenances and Open-pollinated Families of *Eucalyptus urophylla*

Huang Shaowei¹⁾ Zhong Weihua¹⁾ Huang Huaxi²⁾
Huang Kai²⁾ Chen Qingdu³⁾ Li Xiaomei³⁾

(1) Forestry College of South China Agricultural University, 510642, Guangzhou, China;

2) Forestry Experiment Station of Sueixi County, Guangdong Province, 524300, Sueixi, Guangdong, China;

3) The Research Institute of Tropical Forestry, CAF, 510520, Guangzhou, China)

Abstract Eight provenances and 190 open-pollinated families of *Eucalyptus urophylla* were studied at ages of 1, 1.5, 2 and 3.5 years. There were significant differences among provenances in volume and among families in height, DBH and volume. The variations of growth characters are moderately inheritable. Based on the results of age to age genotypic and phenotypic correlations, the early selection for *E. urophylla* can be implemented at the age of 2 years. Superior provenances and families were selected on the basis of performance level. Selection results were also presented in this paper.

Key words *Eucalyptus urophylla*; provenance; family; heritability; genetic correlation; early selection