

文章编号: 100F 1498(2002) 01 0001 06

桉树种间杂种的比较和选择研究*

吴坤明¹, 吴菊英¹, 甘四明¹, 卢国桓², 林康銮², 陈于香¹

(1. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广东 广州 510520; 2. 广东省新会市林业局, 广东 新会 529100)

摘要: 对 13 个尾叶桉×细叶桉杂种、10 个尾叶桉×赤桉杂种、1 个尾叶桉×(尾叶桉×细叶桉)杂种、1 个尾叶桉种内控制授粉子代、5 个尾叶桉母本的自由授粉子代和 1 个尾叶桉×细叶桉 F₁ 自由授粉子代的比较研究表明, 家系间树高、胸径和材积的差异均达 0.01 显著水平。选择出优良杂种和子代 14 个以及优良单株 12 株。优良单株可以作为无性系比较试验的材料, 优良杂种的优良单株可以用于建立下一世代的育种群体。这为优良杂种单株的无性系化和进一步的桉树杂交育种提供了有效的遗传材料。

关键词: 桉树; 杂种; 子代测定; 选择

中图分类号: S722.3⁺4

文献标识码: A

杂交是引入外源基因的有效方法, 是林木育种理论研究和新品种创造的重要手段^[1]。优良杂种个体组配了较多的目的性状基因, 其作为无性系利用可以快速实现目的性状基因的加性和非加性效应的遗传增益, 因此优良杂种是无性系选育的重要材料来源^[2]。桉树属(*Eucalyptus*) 包括 700 余种和变种, 遗传基础极为广阔, 种间杂交产生杂种优势的潜力巨大^[3,4]。80 年代以来, 以创造优良无性系为主要目的的桉树种间杂交育种受到了广泛的重视, 取得了显著的成效^[5]。巴西 Aracruz 公司培育的巨尾桉杂种(*E. grandis* W. Hill ex Maid. × *E. urophylla* S. T. Blake) 在生长、萌芽能力和树干溃疡病(*Diaporthe* sp.) 抗性等性状上比轮回选择的巨桉(*E. grandis* W. Hill ex Maid.) 纯种表现好^[2]。南非培育的巨桉×赤桉杂种(*E. grandis* × *E. camaldulensis* Dehnh.) 的速生性、抗旱性和造纸性能大大优于种内改良的材料^[5]。国内对桉树种间杂种的苗期青枯病(病原为青枯假单胞杆菌(*Pseudomonas solanacearum* (Smith) Yabuuchi et al.) 抗性作过研究, 尾叶桉与粗皮桉(*E. pellita* F. Muell.) 等树种的杂种的苗期抗青枯病能力较强^[6]。

本研究利用 13 个尾叶桉×细叶桉(*E. tereticornis* Smith) 杂种、10 个尾叶桉×赤桉杂种、1 个尾叶桉×(尾叶桉×细叶桉)杂种、1 个尾叶桉种内控制授粉子代、5 个尾叶桉母本自由授粉子代和 1 个尾叶桉×细叶桉 F₁ 杂种的自由授粉子代等遗传材料进行了子代生长测定, 以选择速生的优良杂种和子代及其优良单株, 为进一步的杂交育种和优良杂种单株的无性系化提供可靠的遗传材料。

收稿日期: 2000-11-12

基金项目: “广东省桉树发展工程——桉树杂交育种课题(1996-2000)”和广东省“九五”重点科技攻关项目“桉树纸浆材树种良种选育及栽培技术研究(1996-2000)”的研究内容

作者简介: 吴坤明(1937), 男, 广东梅县人, 副研究员。

* 中国林科院热带林业研究所李洪先生和新会市大泽林业站吕振业先生对大田试验给予了大力协助, 特致谢意。

1 材料与方法

1.1 材料

参试杂种和子代 31 个(表 1), 其中尾叶桉×细叶桉杂种 13 个、尾叶桉×赤桉杂种 10 个、尾叶桉×(尾叶桉×细叶桉)杂种 1 个、尾叶桉种内控制授粉子代 1 个、尾叶桉×细叶桉 F_1 杂种的自由授粉子代 1 个和尾叶桉母本的自由授粉子代 5 个。另外, 以尾叶桉 Egon 山种源作对照(种批 14531, 澳大利亚林木种子中心提供), 该种源在中国非干旱立地上速生性好^[7]。

表 1 参试的杂种和子代及其平均生长表现

编号	杂种/子代	树高		胸径		材积		保存率/ %	蓄积量/ ($m^3 \cdot hm^{-2}$)	与对照蓄积 量之比/%
		H/m	CVI %	D/m	CVI %	$\bar{V}/(m^3 \cdot 株^{-1})$	CVI %			
1	<i>E. u</i> 9201 × <i>E. t</i> 4301	7.94	25.64	6.45	29.30	0.013 10	69.79	87.5	21.24	61.76
2	× <i>E. t</i> 2507	7.69	23.10	5.99	26.99	0.010 88	82.00	75.00	15.12	43.97
3	× <i>E. c</i> 14515	8.14	18.37	6.42	25.80	0.011 98	70.38	87.50	19.42	56.47
4	× <i>E. c</i> 3802	7.41	22.91	5.97	26.12	0.010 21	68.24	93.75	17.74	51.58
5	× <i>E. c</i> 1513	7.30	25.06	5.42	24.74	0.008 52	59.66	90.82	14.34	41.70
6	× <i>E.</i> 9203	7.90	19.13	6.29	26.87	0.011 98	69.04	96.88	21.05	61.21
7	<i>E. u</i> 9202 × <i>E. t</i> 4305	8.49	31.00	6.20	36.66	0.015 61	90.99	87.50	25.31	73.60
8	× <i>E. t</i> 4403	10.14	26.03	7.40	30.97	0.022 72	80.86	93.75	39.47	114.77
9	× <i>E. t</i> 1801	8.55	27.06	6.70	26.16	0.014 77	63.06	90.62	24.80	72.11
10	× <i>E. c</i> 14515	9.36	18.51	7.06	23.33	0.017 57	60.18	84.38	27.47	79.88
11	× <i>E. c</i> 3802	9.96	10.66	7.63	19.25	0.018 79	41.49	96.88	33.73	98.08
12	× <i>E. c</i> 1513	9.83	13.12	7.23	23.70	0.018 77	50.84	90.62	31.52	91.65
13	<i>E. u</i> 2007 × <i>E. t</i> 4301	10.12	12.25	7.53	21.35	0.020 83	53.67	100.00	38.60	112.24
14	× <i>E. t</i> 4403	9.29	12.94	7.47	14.00	0.018 26	35.74	90.62	30.66	89.15
15	× <i>E. t</i> 4310	10.78	18.02	8.35	18.53	0.026 12	43.29	90.62	43.86	127.54
16	× <i>E. c</i> 14515	9.87	8.23	7.35	16.51	0.018 55	36.63	96.88	33.30	96.83
17	× <i>E. c</i> 3802	10.42	11.26	7.76	14.98	0.021 90	36.51	93.75	38.04	110.61
18	<i>E. u</i> 3138 × <i>E. t</i> 1801	8.97	23.17	7.07	22.49	0.017 00	61.62	93.75	29.53	85.87
19	× <i>E. t</i> 4420	7.81	23.85	6.22	23.02	0.011 73	51.25	90.62	19.70	57.28
20	× <i>E. c</i> 14515	9.23	10.98	6.83	16.46	0.014 99	44.42	93.75	26.04	75.72
21	<i>E. u</i> 0030 × <i>E. t</i> 4301	9.07	27.64	7.17	33.48	0.018 72	81.84	64.29	22.30	64.84
22	× <i>E. t</i> 4403	9.04	21.48	7.26	22.00	0.017 89	56.96	96.88	32.12	93.40
23	× <i>E. t</i> 1801	9.72	17.32	7.94	18.48	0.022 09	45.85	93.75	38.37	111.75
24	× <i>E. c</i> 3802	9.53	19.45	7.58	22.47	0.020 52	57.11	81.25	30.89	89.82
25	<i>E. u</i> 9201 × <i>E. u</i> 3223	9.63	21.64	8.23	24.20	0.024 82	58.73	87.50	40.24	117.01
26	<i>E.</i> 9203 自由授粉	7.42	27.25	5.69	37.48	0.010 46	90.74	75.00	14.54	42.28
27	<i>E. u</i> 9201 自由授粉	7.98	24.10	6.62	26.77	0.013 79	82.48	96.88	24.76	72.00
28	<i>E. u</i> 9202 自由授粉	10.38	21.45	8.12	25.42	0.026 45	55.07	90.62	44.41	129.14
29	<i>E. u</i> 2007 自由授粉	9.84	14.11	8.00	13.61	0.021 55	34.01	100.00	39.93	116.11
30	<i>E. u</i> 3138 自由授粉	7.97	26.26	7.17	25.03	0.015 95	136.00	81.25	24.01	69.82
31	<i>E. u</i> 0030 自由授粉	7.47	24.55	6.70	27.97	0.013 66	69.60	81.25	20.57	59.81
32(CK)	<i>E. u</i> 种批 14531	9.73	21.33	7.92	23.57	0.020 48	56.34	90.62	34.39	100.00

注: *E. u*、*E. t* 和 *E. c* 分别代表尾叶桉、细叶桉和赤桉; *E.* 9203 为尾叶桉×细叶桉杂种 F_1 。

1.2 造林试验

造林试验设在广东省新会市大泽镇, 22°32' N, 113°02' E, 海拔 36 m, 年降水量 1 750.4 mm,

年平均气温 22.3 ℃。试验地为花岗岩发育的红壤, 肥力偏低。0—40 cm 表土层有机质含量 24.26 g·kg⁻¹, 全 N 含量 0.71 g·kg⁻¹, 速效 P 含量 1.0 mg·kg⁻¹, 速效 K 含量 12.1 mg·kg⁻¹, pH 4.1。造林地为马尾松皆伐迹地, 坡度 30—40°。

大田试验按随机区组设计, 双行 8 株小区, 4 次重复, 株行距 2.0 m × 2.7 m。1997 年 5 月中旬造林, 挖穴 50 cm × 50 cm × 40 cm, 每穴施基肥复合肥 150 g 和 P 肥 100 g, 常规营林措施。1999 年 11 月中旬(2.5 年生) 观测树高和胸径。根据树高(H , m) 和胸径(D , cm) 计算材积(V , cm³), 材积的计算公式为:

$$V = 1/3HD^2$$

1.3 统计分析

杂种/子代间和重复间的生长差异显著性通过方差分析检验, 采用随机模型, 通过 SAS GLM 过程完成^[8]。杂种/子代间平均单株材积的多重比较采用最小显著差数法(LSD 法, $\alpha = 0.05$)^[9]。

2 结果与讨论

2.1 优良杂种和子代的评选

方差分析结果表明(表 2), 树高、胸径和材积 3 个性状上, 杂种/子代间和重复间均达到 0.01 水平的显著差异。杂种/子代间生长差异显著表明选择优良杂种和子代的潜力较大。8 个杂种/子代的蓄积量比对照高, 蓄积量最高的是母本 *E. u* 9202 的自由授粉子代(28 号, 为对照的 129.14%); 蓄积量最低的是 *E. u* 9201 × *E. c* 1513 杂种(5 号, 为对照的 41.70%)。杂种/子代平均单株材积的多重比较表明($\alpha = 0.05$) (表 3), 28 号与 15 号等 13 个杂种/子代生长无显著差异, 而与 10 号等 17 个杂种/子代差异显著。因此, 28 号、15 号、25 号和 8 号等 14 个杂种/子代可以认为是具有潜力的优良遗传材料。

表 2 参试杂种/子代生长的方差分析

性 状	来 源	<i>DF</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Pr > F</i>
<i>H</i>	杂种(家系)间	31	4.13	3.53	0.000 1
	重复间	3	19.00	16.28	0.000 1
	误 差	93	1.17		
<i>D</i>	杂种(家系)间	31	2.35	3.00	0.000 1
	重复间	3	5.51	7.06	0.000 3
	误 差	93	0.78		
<i>V</i>	杂种(家系)间	31	0.000 092	2.42	0.000 6
	重复间	3	0.000 411	10.80	0.000 1
	误 差	93	0.000 038		

重复间 3 个性状均呈极显著差异可能与试验地立地条件不均匀有关。由于地形限制, 第 1、第 2 和第 3 重复按等高线连续地设置在一个坡向, 而第 4 重复则设置在立地较差的邻近另一坡向, 因此, 第 4 重复各性状表现比前 3 个重复差。如果只取前 3 个重复进行方差分析(表格略), 重复间材积生长无显著差异($F = 1.74 < 2.39 = F_{0.01}$), 这也表明第 4 重复是导致重复间生长差异极显著的主要因子。另外, 可能与杂种分化^[10]和杂种对立地条件较敏感有关^[11]。

本研究中,除了母本 *E. u* 0030 的种间杂种均比自由授粉子代生长好外,其余母本的杂种一般比自由授粉子代生长差。这表明杂交并不都具优势,还有“杂交劣势”的存在。种间杂种对立地条件较敏感,对较差立地条件的适应性不如纯种,表明需要建立多点试验进行种间杂种的鉴定,以评估基因型与环境互作效应的大小^[12]。另外,尾叶桉种内控制授粉子代 *E. u* 9201 × *E. u* 3223(25号)生长表现较好,蓄积量为对照的 117.01%,表明尾叶桉种内杂种具有一定的育种潜力;*F*₁ 杂种 *E. u* 9203 的自由授粉子代(26号)生长差,蓄积量为对照的 42.28%,这也表明对生产中使用桉树杂种的自由授粉种子须持谨慎的态度。

结合杂种/子代的表现,*E. u* 2007 是优良母本,其所有杂种的平均单株材积为对照的 103.2%,且产生的 5 个杂种(13号-17号)均与表现最好的 28 号无显著差异;*E. u* 0030 和 *E. u* 9202 也是较好的母本,其所有杂种的平均单株材积分别为对照的 96.7% 和 88.1%,均有 3 个(分别占杂种总数的 75% 和 50%)与 28 号无显著差异;*E. t* 4310、*E. t* 4403、*E. t* 1801、*E. t* 4301 和 *E. c* 3802 是较好的父本,其均能与一定的母本杂交产生优良杂种和/或优良单株(见表 1 和表 3)。

表 3 家系/子代间平均单株材积的差异显著性检验(LSD法, $\alpha=0.05$)

名次	家系	材积均值	显著性	名次	家系	材积均值	显著性	名次	家系	材积均值	显著性
1	28	0.026 45	a	12	12	0.018 77	abcdefgh	23	27	0.013 79	efghij
2	15	0.026 12	ab	13	21	0.018 72	abcdefgh	24	31	0.013 66	efghij
3	25	0.024 82	abc	14	16	0.018 55	abcdefghi	25	1	0.013 10	fghij
4	8	0.022 72	abcd	15	14	0.018 26	abcdefghi	26	3	0.011 98	hij
5	23	0.022 09	abcde	16	22	0.017 89	bcddefghi	27	6	0.011 98	hij
6	17	0.021 90	abcde	17	10	0.017 57	bcddefghi	28	19	0.011 73	hij
7	29	0.021 55	abcdef	18	18	0.017 00	bcddefghi	29	2	0.010 88	ij
8	13	0.020 83	abcdefg	19	30	0.015 95	cdefghij	30	26	0.010 46	ij
9	24	0.020 52	abcdefg	20	7	0.015 61	cdefghij	31	4	0.010 21	ij
10	32	0.020 48	abcdefg	21	20	0.014 99	defghij	32	5	0.008 52	j
11	11	0.018 79	abcdefgh	22	9	0.014 77	defghij				

注:具有相同字母的家系表示差异不显著。

2.2 优良单株的评选

各杂种/子代内的单株生长的变异较大,树高、胸径和材积的变异系数分别为 10.66% 31.00%、13.61% 37.48%、34.01% 135.99% (表格略)。这表明选择优良单株的潜力较大。表 4 列出了材积最大的 12 株单株及其生长表现。其中,优良单株所在的杂种/子代中,25 号为尾叶桉种内控制授粉子代,28 号和 27 号为母本的自由授粉子代,32 号为对照,其余为种间杂种。

目前,桉树纸浆材人工林的轮伐期一般为 5-8 a^[13],2.5 a 相当于 1/2-1/3 个轮伐期,此时个体间的生长已经出现明显的分化,因此进行选择具有一定的可靠性^[2]。选择的优良单株可以进行无性繁殖特性和无性系生长的试验,易于无性繁殖且生长优良的无性系可以推广应用于生产中,这也是杂交育种的最主要的目的之一。本研究选出的 12 个优良单株速生性好,作为无性系的生长情况有待鉴定。目前,本研究选择的 12 个优良单株的无性系比较试验正在进行。

表 4 选择的优良单株的生长表现

株号(名次)	家系	H/m	D/cm	V/m ³	株号(名次)	家系	H/m	D/cm	V/m ³
1	25	13.0	12.3	0.065 56	7	21	13.0	11.2	0.054 36
2	28	13.0	12.2	0.064 50	8	28	14.0	10.6	0.052 43
3	8	15.0	11.2	0.062 72	9	15	12.0	11.4	0.051 98
4	27	12.0	12.3	0.060 52	10	25	12.0	11.3	0.051 08
5	8	14.0	11.1	0.057 56	11	32	11.0	11.8	0.051 05
6	8	14.0	11.0	0.056 47	12	15	13.0	10.8	0.050 54

育种策略中, 优良家系的最优单株是育种群体需要的材料^[14]。本研究选择的第 1 和第 3 株优良单株均为优良杂种/子代的最优单株, 是建立下一世代桉树育种群体的良好材料。第 5 和第 6 株优良单株与第 3 株均来自 8 号杂种, 为了在后代中避免近交衰退, 只选最好的一株用于下一世代的育种。第 4 株优良单株所在的 27 号子代的平均单株材积名列 23, 不能用于下一世代的育种。第 2 株优良单株由于来自自由授粉子代, 父本不清, 最好不要用于下一世代育种。即使利用, 必须避免与其母本周围 300 m 以内的桉树有亲缘关系的个体杂交, 以防止可能的近交衰退, 因为桉树花粉的最远传播距离可达 42 300 m^[15,16]。

3 结 论

(1) 尾叶桉×细叶桉和尾叶桉×赤桉杂种及母本的自由授粉子代等遗传材料间存在极显著差异, 优良杂种/子代的评选具有极大的潜力。

(2) 选择的优良单株可以通过无性繁殖进行无性系试验, 选择的优良杂种的优良单株可以用于下一世代的育种, 这为优良单株的无性系化和进一步的杂交育种提供了有效的遗传材料。

参考文献:

- [1] 王明麻. 林木育种学概论[M]. 北京: 中国林业出版社, 1989. 146 168
- [2] Eldridge K, Davidson J, Harwood C, et al. Eucalypt Domestication and Breeding [M]. New York: Oxford Science Publications, 1993. 162 180
- [3] 吴坤明, 吴菊英, 徐建民, 等. 桉树种间杂种优势和优良杂种的评选[J]. 广东林业科技, 1996, 12(2): 1 5
- [4] Davison J. Ecological aspects of *Eucalyptus* plantations [A]. In: Proceedings of the Regional Expert Consultation on *Eucalyptus* [C]. RAPA/FAO, Bangkok, Thailand, 1993. 35 72
- [5] Van Wyk G, Schonau A P G, Schon P P. Growth potential and adaptability of young eucalypt hybrids in South Africa [A]. In: Breeding Tropical Trees, Proceedings IUFRO Conference [C]. Oxford Forestry Institute, Pattaya, Thailand, 1988. 325 333
- [6] 甘四明, 白嘉雨, 吴坤明, 等. 尾叶桉作母本的种间控制授粉家系 苗期抗青枯病研究[J]. 林业科学研究, 1998, 11(6): 569 573
- [7] 白嘉雨. 中国热带桉树遗传改良试验综述[A]. 见: 洪菊生. 澳大利亚阔叶树研究[C]. 北京: 中国林业出版社, 1993. 35 48
- [8] SAS. SAS/STAT User's Guide for Personal Computers [M]. Release 6.03 edition. Cary, NC, USA: SAS Institute, 1988
- [9] 莫惠栋. 农业试验统计[M]. 上海: 上海科技出版社, 1984
- [10] 吴坤明, 甘四明, 吴菊英. 桉树杂交育种及杂种利用[A]. 见: 温茂元等. 海南热带人工林持续经营[M]. 海口: 南海出版公司, 2000. 29 44
- [11] Martin B. The benefits of hybridization. How do you breed for it? [A]. In: Breeding Tropical Trees, Proceedings IUFRO Conference [C]. Oxford Forestry University, Pattaya, Thailand, 1988. 79 92

- [12] Matheson A C, Cotterill P. Utility of genotype× environment interactions[J]. *Forest Ecology and Management*, 1990, 30(1): 159-174
- [13] 祁述雄. 中国桉树[M]. 北京: 中国林业出版社, 1989. 274-282
- [14] Cotterill P, Dean C, Cameron J, et al. Nucleus breeding: a new strategy for rapid improvement under clonal forestry [A]. In: *Breeding Tropical Trees, Proceedings IUFRO Conference*[C]. Oxford Forestry Institute, Pattaya, Thailand, November, 1988. 39-51
- [15] Sedgley M, Griffin A R. *Sexual Reproduction of Tree Crops*[M]. London: Academic Press, 1989. 237
- [16] Pacheco IA, Kageyama P Y, Wiendl F M, et al. Estudo da dispersão de pólen de *Eucalyptus saligna* Smith por abelhas *Apis mellifera* L. utilizando-se o radioisótopo ^{32}P [J]. *IPEF*, 1986, 34(1): 47-52

Comparison and Selection of *Eucalyptus* Interspecific Hybrids

WU Kur-ming¹, WU Ju-ying¹, GAN Si-ming¹,
LU Guo-huan², LIN Kang-luan², Chen Yur-xiang¹

- (1. Research Institute of Tropical Forestry, CAF, Guangzhou 510520, Guangdong, China;
2. Xinhui Forestry Bureau, Xinhui 529100, Guangdong, Chian)

Abstract: Progeny test was made with 13 hybrids of *Eucalyptus urophylla* × *E. tereticornis*, 10 hybrids of *E. urophylla* × *E. camaldulensis*, 1 hybrid of *E. urophylla* × (*E. urophylla* × *E. tereticornis*), 5 open pollinated families from the maternal trees of *E. urophylla*, and 1 open pollinated family from *E. urophylla* × *E. tereticornis*. Differences in height, diameter and volume were found at 0.01 significance level both among families and among replicates. Significant replicate among difference might be due to the uneven site condition to which hybrid was susceptible. Fifteen superior families and twelve superior hybrid individuals were selected out for further hybridization and clone test purposes.

Key words: eucalypt; hybrid; progeny test; selection