

# 桉树杂交育种的研究\*

吴坤明 吴菊英 徐建民 甘四明

**摘要** 以尾叶桉为母本,细叶桉、赤桉、窿缘桉、柳桉、巨桉、雷林一号桉、巨桉×尾叶桉和粗皮桉为父本,进行了201个组合的人工控制授粉,已掌握各亲本树种的开花物候。改进花粉处理和贮藏以及人工授粉技术,经干燥处理的花粉,在低温(-18~22℃)下贮藏42个月,发芽率保持在60%以上。建有72个杂种桉参试的试验林7块。3年生杂种桉的材积生长大部分具有明显的杂种优势,配合力强的尾叶桉×细叶桉和尾叶桉×赤桉,单株材积的实际增益分别为120.73%和89.40%。

**关键词** 桉树、花粉贮藏、种间杂交、杂种优势

桉树杂交育种是桉树遗传改良不可缺少的重要组成部分,杂种优势的利用,是现代育种中成果突出的领域之一。有性制种,无性利用,能较大幅度地提高桉树人工林产量。巴西阿拉克鲁斯公司高产、优质的巨桉×尾叶桉(*Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden × *E. urqhylla* S. T. Blaue)无性系人工林(55 m<sup>3</sup>/(hm<sup>2</sup>·a)),正是桉树杂交育种取得辉煌业绩的例子<sup>[1]</sup>。国外20世纪70年代就开展有目的的桉树杂交育种,如印度的细叶桉×赤桉(*E. tereticornis* Smith. × *E. camaldulensis* Dehnh. var. *camaldulensis*)和细叶×巨桉(特别适应干燥立地),地中海的葡萄桉×赤桉(*E. botryoides* Smith × *E. camaldulensis* var. *camaldulensis*)等等<sup>[2]</sup>。

我国桉树杂交育种始于60年代,但主要是利用天然杂种,如雷林一号桉(*E. leizhou* No. 1),亲本为窿缘桉×大叶桉(*E. exserta* F. Muell. × *E. robusta* Smith),四川的兰桉×大叶桉(*E. globulus* Labill. ssp. *globulus* × *E. robusta*),广西的柳窿桉×窿缘桉(*E. saligna* Smith × *E. exserta*)等<sup>[3]</sup>。但有目的的系统人工杂交因早期引种种源不清,基因资源有限,而进展缓慢<sup>[4]</sup>。近年来,华南地区大面积发展桉树人工林,造林规模较大的树种有尾叶桉、细叶桉、赤桉、巨桉×尾叶桉无性系、雷林一号桉无性系和刚果12号桉(*E. ABL 12*)无性系。但因具有优质、速生性特佳的尾叶桉和巨桉×尾叶桉在广西、海南和广东省不同程度地发生青枯病和风害,而桉树青枯病目前又尚无有效的药剂防治,因此提出通过杂交育种,培育具有速生、优质、抗性好的综合型杂种势在必行。

## 1 杂交亲本树种的选择

了解桉树分类系统、亲缘关系对研究桉树种间杂交和杂种鉴定具有极大的实用价值和指导意义。普赖尔—约翰逊分类系统(Pryor-Johnson System)将桉树属分为7个亚属19个组的

1995—01—24 收稿。

吴坤明副研究员,吴菊英、徐建民、甘四明(中国林业科学研究院热带林业研究所 广州 510520)。

\* 本研究为广东省桉树发展工程(1991~1995年)项目内容之一。杂种桉造林试验得到新会市林业局和大泽镇林业工作站的大力支持,特此致谢。

不同系。亚属间的种不能产生杂种, 同一亚属的不同组间的种可以产生杂种, 同一亚属同一组内的种间可以自由地杂交<sup>[5]</sup>。尾叶桉、细叶桉、赤桉、窿缘桉、雷林一号桉与柳桉、巨桉和粗皮桉 (*E. pellita* F. Muell.) 同属双萼盖亚属 (*Symphyomyrtus*), 前 5 种为窿缘组 (Section *Exertaria*), 后 3 种为横脉组 (Section *Transversaria*)。上述 8 个树种适宜在华南地区生长, 从亲缘关系上可以杂交产生杂种, 因此, 选择这几个树种进行人工杂交育种是可行的。

为了培育速生丰产、抗青枯病、抗风、生态适应性广、造纸性能好的新品种, 于 1988 年起在广东省各市县和海南省乐东、临高等县的近 40 个桉类树种、种源、家系试验林、示范林内进行杂交亲本树种的优良单株选择。对尾叶桉、细叶桉、赤桉、窿缘桉、巨桉、柳桉等树种进行苗期光合效率测定。尾叶桉总叶面积大, 速生、干形圆满通直、材质好, 但抗风和抗青枯病性能不够理想。细叶桉和赤桉的总叶面积和光合效率均居中, 抗风和抗青枯病表现突出, 生态适应性广。窿缘桉总叶面积小, 生长量中下, 但光合效率高, 抗病且耐干旱瘠薄, 具有极强的生态适应性。因此选择速生型的尾叶桉为母本, 细叶桉、赤桉和窿缘桉为主要父本进行人工杂交育种。

## 2 开花物候

进行开花物候观察, 准确掌握杂交亲本的花期, 以便不失时机地收集花粉和适时地进行人工授粉, 是杂交育种的重要环节。

通过几年来的桉树开花物候观察, 桉属不同树种, 同一树种不同种源, 同一种源不同个体, 同一个体不同年份其开花物候不尽相同, 始花年龄亦因树种和个体而异。在广东省, 尾叶桉的盛花期在 9 月中旬到 10 月中旬, 少数植株在 11~12 月份, 个别植株一年开花两次, 第一次在 5 月份, 第二次在 12 月份。细叶桉和赤桉的花期相近, 第一次在 3 月上旬到 5 月上中旬, 第二次在 9 月上旬到 12 月上中旬。窿缘桉的盛花期在 6 月中旬到 7 月上旬, 个别植株一年开花两次, 第二次花期在 10 月中旬至 11 月上旬。巨桉和粗皮桉 8~9 月开花。柳桉 5~6 月开花。雷林一号桉花期 6~7 月。尾叶桉、窿缘桉、雷林一号桉等 2 年生开始开花, 但尾叶桉少数植株 9 年生尚未开花。细叶桉、赤桉、巨桉、柳桉和粗皮桉等通常 3~4 年生开始开花。但有些植株的开花间隔期长达 3~4 a。

## 3 花粉贮藏

花粉寿命的长短和花粉贮藏的成败, 对花期不遇的树种进行杂交育种至关重要。桉树花粉在自然状态下, 在夏天, 寿命只能 4~5 d。据报道<sup>[3]</sup>, 四川省林业科学研究所曾作过桉树花粉贮藏试验, 在室内温度、湿度下的贮藏与干燥(硅胶)、低温(4℃)、黑暗条件的贮藏相比, 效果大体相似。贮藏时间 3 d 内生活力最高, 花粉发芽率 68.4%, 10~15 d 的发芽率为 29.0%~55.1%, 20~25 d 以后只有 9.7%。广东省雷州林业局林业科学研究所的试验结果是: 贮藏 30~36 h 的发芽率为 62%~78%, 随时间的增加而发芽率下降。广西林业科学研究所曾作过用鲜花粉及冰箱(4℃)贮存的花粉进行授粉的对比试验, 用鲜花粉授粉得果率为 60%~65%, 最高的达 95%; 用贮存 5 d 的而且保持新鲜状态的花粉授粉, 在解袋后 5 d 全部落果。据国外报道(1939~1995 年 4 月)认为室温贮藏 36 d 是可行的, 但贮藏一年只有在 -16℃ 下保持高的活力。笔者从 1989 年开展桉树杂交育种工作以来, 不断改进花粉处理和花粉贮藏技术, 经干燥

处理的花粉,装入接近真空的小玻璃瓶内,在冰箱冰冻室内保持 $-18 \sim -22$  的低温下贮藏42个月的细叶桉和窿缘桉花粉,发芽率分别为66.4%和60.4%。将已贮藏48个月的细叶桉和赤桉的花粉授在同一株尾叶桉母树的花柱上,细叶桉授粉36个果,赤桉授粉42个果,平均每果获得可育性种子分别为13.8粒和12.2粒,而母本树天然自由授粉平均每果只获得可育性种子7.0粒。

桉树花粉贮藏42个月仍保持相当高的发芽率;贮藏48个月的花粉用于授粉,每果获得的可育性种子数仍然高于母本自由授粉每果的种子数,为解决种间杂交花期不遇提供了条件,特别是对开花间隔期2~4 a的父本树,长期保存具有生活力的花粉尤为重要。

## 4 人工授粉

大多数桉树具有一定程度的自交能力,且异交的似乎占优势。因此,为了防止自交和外来花粉的侵入,对授粉花蕾要进行去雄和套袋隔离。

桉树有效授粉时机因树种而异。尾叶桉开花后的第4~8天为最有效的授粉时机。室外授粉于上午进行较适宜,此时柱头的粘液多,有利柱头接受花粉和花粉发芽。在最佳授粉时机内进行授粉,一次授粉就足够了。采用竹(木)制成的小型授粉匙授粉,其优点是雌蕊柱头沾上的花粉多,一匙约0.03 mL花粉可连续授15~20朵花,从而提高了受粉和工作效率。

每朵花授粉量约0.001 mL。当花粉数量不足时,可在花粉中加入滑石粉,有生活力的花粉被稀释到仅有30%时,并不影响产种量<sup>[5]</sup>。

选择尾叶桉为母本树共19株,选择细叶桉、赤桉、粗皮桉、窿缘桉、柳桉、巨桉、巨尾桉、雷林一号桉8个树种为父本树共36株。从1989年至1994年共进行201个组合的人工授粉,获得杂种种子319.28 g。

## 5 杂种测定和生长差异分析

1992年5月至1993年6月,在广东省湛江、新会、高州、广州市和阳西县,营建了72个杂种桉参试的试验林7块,面积6.1 hm<sup>2</sup>。现以新会市3年生试验林的生长量为例进行分析(表1)。从表1可知:参试的杂种桉有19个,4个母本的自由授粉子代,1个对照(尾叶桉良种原种)。

19个杂种中,树高具超亲的杂种有16个,占参试杂种的84.21%,比亲本大4.50%~44.40%;胸径有13个,占参试杂种的68.42%,比亲本大0.42%~45.52%;单株材积有12个,占63.16%,比亲本大3.03%~116.52%;蓄积量有15个,占78.95%,比亲本大9.45%~234.66%;保存率有17个,占89.47%,比亲本大4.00%~56.52%。

方差分析结果(表2)表明:杂种间树高、胸径、单株材积和蓄积量均达到极显著差异。

用新复全距法进行杂种间诸性状差异显著性测验。其结果是第14、18和19号杂种的树高(除第19号排名第7位外)、胸径、单株材积和蓄积量均在前3名,树高顺序18、14、19(第7位);胸径和单株材积为14、19、18;蓄积量为18、14、19,且均与对照(24)有显著差异(表3)。其中树高比对照大15.31%~28.69%;胸径大11.91%~23.48%;单株材积大89.40%~120.73%;蓄积量大110.52%~154.97%。因此,以95%的概率保证,第14、18、19号3个杂种桉可在适宜栽培区选用推广。

表 1 参试材料

序号	组 合	序号	组 合
1	尾叶桉 2001 × 细叶桉 2001	13	尾叶桉 3138 × 窿缘桉 9101
2	尾叶桉 2001 × 赤桉 3802	14	尾叶桉 3138 × 细叶桉 3402
3	尾叶桉 2001 × 窿缘桉 9101	15	尾叶桉 3138 × 巨桉 3101
4	尾叶桉 2001 × 粗皮桉 6502	16	尾叶桉 0030 × 粗皮桉 9908
5	尾叶桉 3134 × 细叶桉 2001	17	尾叶桉 0030 × 窿缘桉 9002
6	尾叶桉 3134 × 赤桉 3802	18	尾叶桉 0030 × 赤桉 14515
7	尾叶桉 3134 × 窿缘桉 9101	19	尾叶桉 0030 × 细叶桉 3405
8	尾叶桉 3134 × 粗皮桉 6502	20	尾叶桉 2001(母本子代)
9	尾叶桉 3134 × 雷林一号桉 9101	21	尾叶桉 3134(母本子代)
10	尾叶桉 3134 × 粗皮桉 9902	22	尾叶桉 3138(母本子代)
11	尾叶桉 3134 × 柳桉 14429	23	尾叶桉 0030(母本子代)
12	尾叶桉 3138 × 赤桉 3802	24	尾叶桉 14531(优良种源原种)

表 2 经济性状方差分析结果

性状	变异来源	自由度	方差	F 值	$F_{0.05}$	$F_{0.01}$
树高	组合间	23	5.29	4.89**	1.75	2.22
	区组间	2	33.31	30.84**	3.20	5.10
	机误	46	1.08			
胸径	组合间	23	4.06	3.86**	1.75	2.22
	区组间	2	24.04	22.90**	3.20	5.10
	机 误	46	1.05			
单株材积	组合间	23	0.000 20	4.65**	1.75	2.22
	区组间	2	0.001 24	28.84**	3.20	5.10
	机 误	46	0.000 043			
蓄积量	组合间	23	695.68	3.91**	1.75	2.22
	区组间	2	4 423.37	24.84**	3.20	5.10
	机误	46	178.07			

## 6 结 语

(1) 经干燥处理的桉树花粉, 装入接近真空的小玻璃瓶内, 在 $-18 \sim -22$  的低温下贮藏, 42 个月仍保持 60% 以上的发芽率, 48 个月用于授粉每果获得的可育性种子数高于母本自由授粉的种子数, 为解决种间杂交花期不遇提供了条件。

(2) 3 年生桉树杂种间生长量有极显著差异。第 14、18、19 号杂种桉的单株材积生长量比对照大 89.40% ~ 120.73%, 蓄积量大 110.52% ~ 154.97%。目前桉树工业用材林采用较集约的营林措施, 尾叶桉、巨尾桉等速生树种在广东的材积速生期在 2 ~ 4 a, 峰值出现在第三年, 其连年生长与平均生长曲线在第五年相交达到数量成熟, 说明 5 a 主伐是可行的(上述 3 个杂种桉的亲本是尾叶桉、细叶桉和赤桉, 亲本 6 年生时的木材均是造纸性能良好的树种)。3 个杂种桉综合了尾叶桉速生、干形通直和细叶桉、赤桉抗风、抗青枯病性能好的优良特性。因此, 以 95% 的概率保证, 上述 3 个速生型杂种桉可在适宜栽培区选用推广。

表3 参试材料诸性状平均值多重比较(95%水平)

(时间: 3 a)

序号	树高(m)	序号	胸径(cm)	序号	单株材积(m <sup>3</sup> )	序号	蓄积量(m <sup>3</sup> /hm <sup>2</sup> )
18	11.26	14	10.68	14	0.042 05	18	70.18
14	10.68	19	9.52	19	0.037 24	14	65.43
6	10.38	18	9.21	18	0.036 08	19	57.95
13	10.23	6	8.65	22	0.028 77	11	53.63
7	10.20	8	8.34	6	0.028 45	2	50.94
11	10.16	2	8.28	2	0.026 96	12	50.36
19	10.09	12	8.26	11	0.026 08	6	49.01
12	10.06	23	8.23	17	0.025 83	22	46.37
2	9.92	22	8.20	23	0.025 07	13	42.88
17	9.73	17	8.19	12	0.024 49	7	41.68
8	9.49	11	7.99	7	0.024 19	17	41.63
22	9.41	13	7.83	13	0.024 11	15	39.99
23	9.24	24	7.71	8	0.023 84	1	37.66
15	9.18	7	7.56	21	0.020 91	10	36.10
5	9.16	15	7.53	15	0.020 56	5	33.64
24	8.75	10	7.21	5	0.020 18	23	32.04
10	8.59	21	7.18	1	0.019 33	8	31.80
1	8.57	5	7.13	24	0.019 05	21	29.05
3	8.37	1	6.98	10	0.018 56	24	27.53
21	8.22	4	6.77	3	0.018 22	3	26.33
9	8.00	3	6.48	4	0.016 83	4	24.32
4	7.94	9	6.20	9	0.015 16	9	21.92
20	6.84	20	5.96	20	0.012 45	20	15.22
16	5.87	16	5.69	16	0.007 91	16	11.78

## 参 考 文 献

- 1 洪菊生, 刘夏华, 黄东志, 等. 巴西桉树人工林栽培技术. 世界林业研究, 1992, 5(2): 61 ~ 69.
- 2 Jacobs M R. 桉树栽培. 罗马: 联合国粮农组织, 1981. 237 ~ 239.
- 3 祁述雄. 中国桉树. 北京: 中国林业出版社, 1989. 95 ~ 103.
- 4 白嘉雨. 华南地区桉属树种改良工作问题及其对策. 林业科学研究, 1992, 5(5): 574 ~ 584.
- 5 Pryor. L D, Johnson L A S (王豁然译). 桉树分类. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 1986. 7 ~ 9, 35 ~ 57.
- 6 南京林学院树木育种研究室编著. 树木良种选育方法. 中国林业出版社, 1984. 128.

## Cross Breeding in *Eucalyptus*

Wu Kunming Wu Juying Xu Jianmin Gan Siming

**Abstract** Two hundred and four hybrids have been produced with controlled pollination method since 1989, of which the mother tree is *Eucalyptus urophylla* and the fathers are *E. tereticornis*, *E. camaldulensis*, *E. exserta*, *E. saligna*, *E. grandis*, *E. leizhou* No. 1, *E. grandis* × *E. urophylla* and *E. pellita*. The phenological regimes of flowering of the parents have been summarized. The pollens stored under  $-18 \sim -22$  for 42 months after drying treatment could be kept with a germination ratio above 60%. Even trials involving 72 hybrids have been established. The results indicate that most of the hybrids have marked heterosis in volume accumulation when 3 years old. The best hybrids are tested to be *E. urophylla* × *E. tereticornis* and *E. urophylla* × *E. camaldulensis*, with individual volume higher than that of the parents by 120.73% and 89.40% respectively.

**Key words** *Eucalyptus*, pollen storage, inter-specific hybridization, heterosis