

文章编号: 1001-1498(2007)02-0181-07

福建中亚热带 7个桉树无性系多点 造林对比试验研究

李宝福

(福建省林业科学研究院, 国家林业局南方山地用材林培育重点实验室, 福建 福州 350012)

摘要: 在福建中亚热带开展 7个桉树无性系的区域试验研究结果表明: 巨桉 3号速生性、适应性和耐寒性强, 生长量高, 稳定性较好, 能耐 $-4\sim-4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温。DH201-2 巨桉 1号和 DH184-1 生长量较高, 速生性、适应性和抗逆性较强, 稳定性好, 能耐 $-3.5\sim-4.0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温。这 4个无性系适合在福建中亚热带年均温 $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上的不同区域选择应用; 柳窿桉 9号速生性中等, 耐寒性有限, 只能耐 $-2.0\sim-2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温, 而赤桉 1号和赤桉 3号虽耐寒性强, 能耐 $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温, 但速生性差、产量低, 而且这 3个无性系的变异性大, 稳定性差, 适应范围窄, 只适合局部小区域生长, 作为短周期工业原料林不提倡在该区发展。

关键词: 福建中亚热带; 耐寒桉树无性系; 区域试验

中图分类号: S792.39

文献标识码: A

Contratest Investigation on Seven Clones of *Eucalyptus* Multiplex Forestation in Middle-subtropics of Fujian

LI Baofu

(Fujian Academy of Forestry, Key Laboratory of Southern Mountain Timber
Forest Cultivation, State Forestry Administration, Fuzhou 350012, Fujian, China)

Abstract Contratest investigation on 7 clones of *Eucalyptus* in the middle-subtropics of Fujian was conducted and the result showed that the adaptability, fast growth and cold-resistance of *E. grandis* No 3 were strong, the growth increment was high, the stability was better, it could bear the low temperatures of $-4\sim-4.5\text{ }^{\circ}\text{C}$. The adaptability, fast growth and cold-resistance of *E. grandis* No 1, DH 184-1 and DH 201-2 were stronger, the yield was higher, the stability was excellent, they could bear the low temperature of $-3.5\sim-4.0\text{ }^{\circ}\text{C}$. They were suitable to be planted in Fujian middle-subtropical area with average temperature above $19\text{ }^{\circ}\text{C}$; The fast growth of *E. saligna* \times *E. exserta* No 9 were generic but its resistant to cold was limited, could only bear low temperatures of $-2.0\sim-2.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, the rate of freeze injury was high. The cold-resistance of *E. camaldulensis* No 1 and No 3 were strong, could bear the low temperatures of $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$, but their fast growth were poor and yields were low. Moreover, the variability of these three clones was big and the stability was not good, the adaptive area was narrow, they could only fit to plant on local small areas and didn't advocate development in the middle-subtropics of Fujian.

Key words middle-subtropics of Fujian; *Eucalyptus* of cold-resistance clone; regional experimentation

收稿日期: 2006-07-04

基金项目: 福建省林木种苗科技攻关项目《桉树良种选育与扩繁应用》(闽林科 2003-10)专项经费资助

作者简介: 李宝福(1968—), 男, 福建仙游人, 高级工程师, 农业推广硕士, 研究方向为森林培育与森林土肥。

联系电话: 0591-87911431 E-mail 2003 lbaofu@163.com

桉树 (*Eucalyptus* spp.) 作为一类重要的短周期工业用材树种近几年发展迅猛^[1]。福建省现有桉树速丰林面积约 10 万 hm^2 且每年以约 1.33 万 hm^2 的速度递增并逐步向北推移,但在闽西北中亚热带地区,桉树人工林的栽培仍处于试验阶段,长期以来在引种栽培中时常遭受不同程度的冻害,损失较大,不少地方的领导和群众对进一步发展桉树产生严重顾虑。因此,选择既抗寒又速生的桉树良种,是该区发展桉树短周期工业原料林急需解决的首要问题。虽然近 20 年来国内较多地开展有关耐寒桉树的选育研究^[2~4],但目前可供推广应用的耐寒无性系仍然较少,尤其是经过试验认定的优良无性系极为缺乏,也未见有关于耐寒桉树无性系区域试验效应分析的文献报道,生产上选用耐寒桉树无性系显得比较盲目。针对这种情况,福建省林木种苗科技攻关项目根据福建中亚热带地区的气候和立地条件,将收集到的耐寒桉树无性系在不同区域内开展多点造林对比试验,评价不同无性系的适应性并明确其种植范围,为推广和合理利用提供依据。

1 试验地概况

试验点选择在立地类型和气候条件不同的南平太平林业试验场信坑山 46 林班 3 大班 1、2 小班 (代表闽北南部, $118^{\circ}25' E$, $26^{\circ}27' N$)、邵武市沿山镇固源村满山 1 大班 9 小班 (代表闽北北部, $117^{\circ}35' E$, $27^{\circ}20' N$)、永安市大湖镇坑源村 7 大班 2、3 小班 (永安林业集团基地, 代表闽中, $117^{\circ}30' E$, $25^{\circ}54' N$) 和上杭白砂国有林场大梧工区禾坑亭 10 大班 2 小班 (代表闽西, $116^{\circ}35' E$, $25^{\circ}15' N$)。试验林地除上杭白砂点为杂灌地外,其他 3 个点均为杉木 (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook.) 采伐迹地,土壤均为花岗岩发育的红壤,土层厚度大于 100 cm,腐殖质层厚度 5~23 cm,4 个试验点的林下植被主要有芒萁 (*Dicranopteris dichotoma* (Thunb.) Bernh.)、桂竹 (*Phyllostachys bambusoides* Sieb. et Zucc.)、五节芒 (*Miscanthus floridulus* (Labill.) W. et A.). 各试验地的气候及立地基本情况见表 1。

表 1 试验点气候及立地基本情况

地点	年均温 / $^{\circ}C$	最冷月 (1月) 均温 / $^{\circ}C$	最热月 (7月) 均温 / $^{\circ}C$	年降水量 /mm	相对湿度 /%	无霜期 /d	极端低温 / $^{\circ}C$	海拔 /m	坡向	坡度 /($^{\circ}$)	土壤肥力等级
南平太平	19.4	9.1	28.4	1817	81	300	-5.0	116	东	28	II
永安大湖	19.1	10.0	28.0	1700	80	295	-5.6	380	西南	26	II
上杭白砂	19.2	10.5	27.5	1720	80	295	-5.5	475	东南	20	III
邵武沿山	18.0	6.3	26.5	1783	78	264	-7.5	468	西南	24	II

2 材料与方方法

2.1 试验材料

参加区域试验的无性系有:柳窿桉 9 号 [*E. saligna* Smith \times *E. exserta* F. Muell. No 9]、赤桉 1 号 (*E. camaldulensis* Dehnh. No 1)、赤桉 3 号 (*E. camaldulensis* No 3)、巨桉 1 号 (*E. grandis* W. Hill ex Maiden No 1)、巨桉 3 号 (*E. grandis* No 3)、尾赤桉 DH 201-2 [*E. urophylla* S. F. Blake \times *E. camaldulensis* Dehnh. DH 201-2] 和尾细桉 DH 184-1 [*E. urophylla* \times *E. tereticornis* Smith) DH 184-1] 共 4 个树种 7 个无性系,材料来源见表 2。苗木均为组培苗,苗高 15~20 cm,由福建省林业科学研究院桉树种苗科技攻关项目组负责调度。

表 2 参试桉树无性系基本情况

试验号	无性系名称	来源
1	DH 184-1	福建省林业试验中心提供 (广西东门林场选育)
2	柳窿桉 9 号	福建省林科院组培室提供 (广西林科院选育)
3	DH 201-2	福建省林业试验中心提供 (广西东门林场选育)
4	巨桉 1 号	福建省龙岩市种苗站提供 (永安林业集团选育)
5	赤桉 1 号	永安林业集团种苗中心提供 (永安林业集团选育)
6	巨桉 3 号	福建省龙岩市种苗站提供 (永安林业集团选育)
7	赤桉 3 号	永安林业集团种苗中心提供 (永安林业集团选育)

2.2 试验设计与造林

以无性系为处理,随机区组设计,重复 3 次,每处理小区面积 0.1 hm^2 左右,同一个试验点的同一区组内各小区的立地条件 (坡向、坡度、海拔、坡位、土壤肥力) 基本一致。

造林措施为:造林密度 1665 株 \cdot hm^{-2} (株行距 3 m \times 2 m)。造林地经全面劈草清杂、炼山及残留物进

行堆烧后, 块状整地挖明穴, 穴规格 50 cm × 40 cm × 30 cm, 造林前一周施钙镁磷肥 500 g · 穴⁻¹作基肥后回表土。苗木于 2003 年 4 月下旬定植, 造林时苗木用白蚁驱避药液 (800 倍) 沾根并在造林后每穴施吡喃丹 5 g 以防白蚁 (Termitidae 等) 危害。定植后 15 d 调查成活率并补植, 造林后当年 6 9 月全锄草和扩穴培土各 1 次, 次年 5 月全锄草 1 次并结合抚育追施复合肥每株 250 g

2.3 调查与数据处理

造林后每年定期调查各样地 (抽取中间 3 ~ 5

列, 至少确保每小区调查株数 30 株以上) 的林木树高、胸径等生长量指标, 以及风害、旱害、寒害和病虫害等情况并记录自然灾害气候资料。

寒害情况分析, 参照国家林木寒害分级标准, 结合桉树的受冻特点, 将按树受冻后的生态反映分为 6 级^[5], 其标准见表 3。在调查中, 对照桉树冻害分级标准逐株目测调查评定冻害级, 其计算式为: 平均冻害级代表值 = \sum (受冻级代表值 × 该级受冻株数) / 调查总株数^[6]。

表 3 寒害等级标准

寒害等级 代表值	症状		
	叶	枝	主干
0(无冻)	叶片正常, 未受冻失绿或脱落	未受冻害	树干无损伤
1(轻微冻)	树冠 1/4 的叶片受冻失绿、干枯宿存或脱落	嫩梢枝条受冻轻微, 过后很快恢复生长	树干无损伤
2(轻冻)	树冠 1/4 ~ 1/2 叶片受冻失绿、干枯宿存或脱落	顶梢枯萎	树干冻枯 < 1/3
3(中冻)	树冠 1/2 ~ 3/4 叶片受冻失绿、干枯宿存或脱落	当年生枝条大部分受冻枯死, 部分多年生枝条受冻	树干冻枯 1/3 ~ 1/2
4(重冻)	树冠 > 3/4 的叶片受冻失绿、干枯宿存或脱落	多年生枝条大部分受冻枯死	树干冻枯 ≥ 1/2
5(冻死)	树冠全枯	全部受冻枯死	树干全枯

按福建省桉树二元材积公式^[7]:

$$V = 0.00003546D^{1.782514957}H^{1.256710514}$$

计算材积。

数据统计分析由 DPS 专业统计软件完成, 其中区域效应分析的数学模型为^[8,9]:

$$x_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \rho_k + \varepsilon_{ijk} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, a; j = 1, 2, 3, \dots, b; k = 1, 2, 3, \dots, n)$$

品系效应、地点效应、品系与地区的交互效应均属固定型效应。式中 x_{ijk} 表示第 i 个品系在第 j 个地点第 k 区组的观测值, μ 为公共总体平均值, α_i 为第 i 个品系效应, β_j 为第 j 地点效应, $(\alpha\beta)_{ij}$ 为 i 品系与 j 地点的交互效应, ρ_k 为 j 地点内第 k 区组效应, ε_{ijk} 是服从 $N(0, \sigma^2)$ 分布的随机误差。交互效应 $(\alpha\beta)_{ij} = x_{ij\cdot} - x_{i\cdot} - x_{\cdot j} + \mu$, 设无性系与地点的交互效应方差为 $k_{\alpha\beta}^2$, 即 $k_{\alpha\beta}^2 = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b (\alpha\beta)_{ij}^2 / (a-1)(b-1)$, 则在固定模型中, $k_{\alpha\beta}^2 = (MS_{AB} - MSe) / n$, 第 i 无性系与地点的交互效应方差 $k_{\alpha\beta(i)}^2 = MS_{AB(i)} - \frac{a-1}{an} MSe$, $MS_{AB(i)}$ 为第 i 无性系与地点

的交互效应均方, MSe 为误差均方。为便于比较和提高评价精度, 引入互作效应的相对变异系数 ($C \cdot V$) 来评价无性系的稳定性, 计算式: $C \cdot V_{\alpha\beta(i)} = \sqrt{k_{\alpha\beta(i)}^2} / X_{i\cdot} \times 100$, 相对变异系数小, 则说明该无性系稳定性好, 适应范围广, 反之则说明稳定性差, 适应范围窄。

3 结果与分析

3.1 参试无性系的速生性和适应性分析

造林当年成活率调查表明, 参试的 7 个无性系的成活率均较高, 达 95% 以上。随后, 不同无性系间的保存率存在显著或极显著差异 (表 4), 其中赤桉 3 号和赤桉 1 号的保存率相对低些。总体上, 参试无性系的保存率均较高, 当年在 85% 以上, 第 2 年在 83.5% ~ 90.5% 之间, 28 个月生时仍高达 80% 以上。说明在福建中亚热带山地, 参试的无性系都有一定的适应能力。

表 4 造林成活率和保存率

项目	DH 184-1	柳窿桉	DH 201-2	巨桉 1 号	赤桉 1 号	巨桉 3 号	赤桉 3 号	方差分析及其显著性检验 (F 值)	
造林成活率 %	96.2	96.8	95.8	96.4	95.9	97.1	95.7	1.124	
保存率 %	8 个月	91.1	92.1	93.9	91.9	85.9	91.1	86.1	11.719*
	20 个月	88.8	87.8	90.5	89.7	83.7	88.6	83.5	6.654*
	28 个月	83.9	83.0	85.6	87.8	80.3	83.2	80.8	3.648

注: $F_{(6, 18)} 0.05/0.01 = 2.661/4.015$, $F_{(6, 12)} 0.05/0.01 = 2.996/4.821$

表 5 参试无性系生长情况

项目	地点	无性系						
		DH201-2	巨桉 3号	DH 184-1	巨桉 1号	柳窿桉 9号	赤桉 1号	赤桉 3号
8个月树高 /m	太平	1.55	1.50	1.37	0.96	1.21	1.52	1.04
	永安	1.54	1.21	1.67	0.95	1.15	1.09	0.99
	上杭	1.48	1.48	1.50	1.10	1.10	1.30	1.05
	邵武	1.33	1.57	1.14	0.86	1.01	1.59	0.98
	(平均)	1.48a	1.44a	1.42a	0.97b	1.12b	1.38a	1.02b
20个月树高 /m	太平	8.76	7.62	6.63	6.90	7.64	5.12	5.19
	永安	7.97	7.04	7.54	5.95	4.36	4.50	4.61
	上杭	6.20	5.80	4.60	4.20	4.30	3.60	3.80
	(平均)	7.64a	6.82ab	6.26bc	5.68bcd	5.43cd	4.41e	4.53e
	20个月胸径 /cm	太平	8.02	8.12	6.42	6.95	7.23	5.29
永安		7.55	7.18	7.57	6.15	4.82	4.26	4.17
上杭		5.60	6.30	4.00	4.50	3.80	3.20	3.50
(平均)		7.06a	7.20a	6.00b	5.87bc	5.28c	4.25d	4.24d
28个月树高 /m		太平	10.90	11.82	10.40	10.52	9.95	7.71
	永安	10.15	9.37	9.49	8.66	4.96	5.87	5.68
	上杭	7.03	6.80	6.80	6.40	2.63	5.33	5.37
	(平均)	9.36	9.33	8.90	8.53	5.85	6.30	6.57
	28个月胸径 /cm	太平	9.31	11.79	8.79	9.78	9.28	6.21
永安		10.33	10.26	8.62	9.59	7.80	5.66	5.07
上杭		7.17	7.95	6.70	6.83	2.10	4.43	4.60
(平均)		8.94	10.00	8.04	8.73	6.39	5.43	5.59

注: ①8个月生的数据为 2003年 12月 15日受冻前调查, 20个月生数据为 2004年 12月 28日受冻前调查, 28个月数据为经受冻害后 2005年 8月 23日调查。②两两之间含有相同的字母说明没有差异, 否则有显著或极显著差异。

在速生性方面, 从表 5 可以看出, 造林当年 DH 201-2、巨桉 3号、DH 184-1和赤桉 1号生长较快, 8个月平均树高在 1.4 m 以上, 而柳窿桉 9号、巨桉 1号和赤桉 3号早期生长相对较慢, 8个月平均树高仅 1.0 m 左右。经方差分析及 SSR 多重比较表明 (树高 F 值为 8.088^{*}) DH 201-2、巨桉 3号、DH 184-1、赤桉 1号无性系造林当年的树高生长量显著或极显著地高于柳窿桉 9号、赤桉 3号和巨桉 1号。可见, DH 201-2、巨桉 3号、DH 184-1和赤桉 1号的速生性在造林当年就表现得较为突出。随后, 经受造林当年严冬 (2003年 12月 20日) 的考验, 在邵武低温 - 6.5℃ 的霜冻下, 所有无性系均受冻达 5 级而全部冻死, 在太平、永安、上杭低温 - 2~ - 4℃ 下, 除赤桉 2个无性系未受冻或只轻微受冻外, 其余无性系均不同程度的受冻 (小于 3 级), 过后恢复了抽梢生长。2005年 1月 1日 3个试验地出现了 - 4.5~ - 5℃ 的低温和 3月份连续长时间的低温霜冻, 参试的无性系再次受到不同程度的冻害, 特别是永安和上杭试验点的大部分无性系受冻严重, 直

接影响了生长量。考虑到某些无性系较速生但耐寒性有限如柳窿桉 9号, 在经受严重冻害后, 生长量大大降低, 倘若以经受重冻后的生长量来衡量速生性则显然会产生偏差。为此, 以 20个月生未经受严重冻害的生长量来评价速生性, 经方差分析及 SSR 多重比较结果表明, 参试无性系的林分树高、胸径的 F 值分别为 8.714^{*} 和 10.521^{**} [$F_{(6, 12)} 0.05/0.01 = 2.996/4.821$], DH 201-2和巨桉 3号间的树高、胸径没有差异且树高显著或极显著地高于柳窿桉 9号和赤桉 2个无性系, 胸径显著或极显著地高于所有的参试无性系 (表 5)。参试无性系的速生性大小排序为: DH 201-2和巨桉 3号 > DH 184-1和巨桉 1号 > 柳窿桉 9号 > 赤桉 3号和赤桉 1号。

3.2 参试无性系的抗逆性分析

定期观测表明, 试验期间, 参试的无性系很少出现风折、断干、倒伏现象, 也没出现严重的病虫害危害及旱害现象。这足以证明 7个无性系在福建中亚热带地区表现有很强的抗倒伏、抗旱和抗病虫害能力。

表 6 参试无性系受冻情况

无性系	当年生平均受冻等级				20 个月生平均受冻等级		
	太平 - 2℃	上杭 - 3.5℃	永安 - 4℃	邵武 - 6.5℃	太平 - 4.5℃	上杭 - 4.8℃	永安 - 5℃
DH 201-2	0	1.0	1.5	5	1.4	2.3	2.0
巨桉 3号	0	1.2	1.4	5	0.4	2.0	1.8
DH 184-1	0	1.8	2.0	5	1.1	2.8	2.5
赤桉 1号	0	0	0	5	0.1	0.8	0.7
柳窿桉 9号	1.1	2.8	3.0	5	2.4	4.1	3.3
赤桉 3号	0	0.5	0.6	5	0	0.4	0.2
巨桉 1号	0	1.6	2.0	5	1.0	2.5	2.0

但是, 福建中亚热带地区突出的气候特点是冬季低温寒流, 在幼林阶段, 因枝、叶比较嫩弱, 寒害成了制约该区桉树速丰林成败的主导因子。2003 年冬、2004 年冬至 2005 年春, 该区分别出现了 2 次典型低温天气, 据调查, 不同无性系的耐寒性及对低温的表现情况见表 6。从表 6 看出, 2003 年冬 (2003 年 12 月 20 日受冻), 林分正处于幼林初期, 对低温反映比较敏感, 在邵武低温 - 6.5℃ 的情况下, 参试的无性系全部受冻而报废。在 - 4℃ 以上的低温下, 不同无性系受冻表现不一, 其中柳窿桉 9 号在 - 2.0℃ 的低温天气下, 就有 35% 的林木顶梢受冻约 20 cm, 受害平均等级达 1.1 级, 而在低温 - 3.5~ - 4.0℃ 下, 100% 受冻且冻害等级达 2.8~ 3.0 级; 在低温 - 3.5~ - 4.0℃ 的情况下, DH 201-2 和巨桉 3 号受冻等级在 1.0~ 1.5 级之间, 过后恢复较好。DH 184-1 和巨桉 1 号受冻等级在 1.6~ 2.0 级之间, 过后也恢复抽梢但不如 DH 201-2 和巨桉 3 号好。而赤桉 1 号和赤桉 3 号耐寒性相对较强, 没有或只轻微受冻。

2004 年冬至 2005 年春 (2005 年 1 月 1 日、2005 年 3 月受冻), 太平、上杭、永安 3 地出现了 - 4.5~ - 5℃ 的低温天气且持续时间达 5 h 左右, 该气温是福建省中亚热带温区冬季时常出现的低温天气, 虽然随着林木的生长, 林木本身抗性的增强而耐寒性大大提高, 但由于气温低且持续时间长, 除赤桉 2 个无性系基本没有受冻外, 其他无性系均不同程度地受冻, 其中柳窿桉 9 号受冻严重 (100% 受冻, 受冻平均等级 2.4~ 4.1 之间) 且恢复较差 (多形成多头开杈); 巨桉 3 号在 - 4.5℃ 的低温下, 有 42% 的林木的幼叶和嫩梢受轻微危害 (嫩梢受冻约 5~ 10 cm),

平均受害等级 0.4 级, 寒流过后恢复生长, 但在 - 5℃ 的低温下, 平均受冻等级在 2 级左右; DH 201-2 巨桉 1 号和 DH 184-1 的耐寒性相当, 在 - 4.5℃ 的低温下, 受冻率在 76%~ 85% 之间, 嫩梢受冻 15~ 40 cm, 平均受害等级在 1.0~ 1.4 在 - 5℃ 的低温下, 均 100% 受冻且冻害等级在 2.0~ 2.8 之间。

根据冻害及其恢复生长状况调查结果, 幼树赤桉 3 号和赤桉 1 号可耐 - 5℃ 的低温, 巨桉 3 号可耐 - 4.0~ - 4.5℃ 的低温, DH 201-2 巨桉 1 号和 DH 184-1 可耐 - 3.5~ - 4.0℃ 的低温, 柳窿桉 9 号只可耐 - 2.0~ - 2.5℃ 的低温。

3.3 参试无性系与环境的互作效应及综合评价选择

前述分析已表明, 参试无性系的造林成活率、林分保存率均较高, 且抗倒伏、抗旱和抗病虫害能力均较强, 为此, 本研究将这些性状指标忽略而不作为评价依据。因经受两次不同程度的冻害考验, 目前近 3 年生的生长量不但可以反映出无性系的适应性和速生性, 同时可以间接反映无性系的抗逆性特别是抗寒能力, 因为受冻及其恢复情况直接影响着林木的生长和产量, 而且对短周期桉树用材林来说, 林龄 28 个月已达半个轮伐期, 此时的生长量基本上可以反映主伐时产量的高低趋势和树木本身的遗传潜力^[10, 11]。为此, 在前述各性状差异性分析的基础上, 以经受不同程度霜冻后的材积生长量为指标采用品系区域试验专业统计分析方法^[9], 对参试无性系主效应、地点效应以及无性系与地点的交互效应及其变异性进行分析, 综合评价无性系的速生性、适应性、抗逆性和稳定性。

表 7 无性系 × 地点材积互作效应分析与综合评价结果

无性系	28个月生材积 m^3			三地材积均值 SSR 多重比较*	主效应值	互作变异 系数 $C. V/\%$	综合评 定值 P_i	适应地区	优劣排序
	太平 (E1)	永安 (E2)	上杭 (E3)						
巨桉 3号	0.064 4	0.037 6	0.016 2	0.039 4 aA	0.017 3	29.806 7	0.663	E1, E1~E3	1
DH 201-2	0.038 2	0.042 1	0.014 1	0.031 5 bB	0.009 4	26.823 2	0.712	E2, E1~E3	3
巨桉 1号	0.040 5	0.030 1	0.011 3	0.027 3 bc BC	0.005 2	9.621 2	0.664	E1~E3	2
DH 184-1	0.032 7	0.028 0	0.012 3	0.024 3 cC	0.002 2	13.756 4	0.839	E1~E3	4
柳窿桉 9号	0.033 9	0.010 4	0.000 5	0.014 9 dD	-0.007 2	42.121 9	1.716	E1	5
赤桉 3号	0.017 5	0.005 7	0.004 9	0.009 4 eDE	-0.012 7	78.851 7	2.808	E1	6
赤桉 1号	0.012 2	0.007 2	0.004 3	0.007 9 eE	-0.014 2	110.414 5	3.736	E1	7

* 两两之间含有相同的字母说明没有差异, 否则有差异。小写字母为 5% 显著水平, 大写字母为 1% 极显著水平。

经对参试无性系 28 个月生材积的区域效应分析结果表明, 参试无性系主效应、地点副效应以及无性系与地点交互作用的 F 值分别为 63.506 4^{*}、169.030 2^{*} 和 10.081 6^{*}, 均达极显著差异水平。为深入了解各无性系在具体环境的适应情况, 进一步对无性系主效应以及无性系与地点的互作效应进行分析, 从表 7 的综合分析结果看出, 巨桉 3 号无性系主效应大, 生长量高, 其次为 DH 201-2 巨桉 1 号和 DH 184-1 无性系, 经 SSR 多重比较结果表明, 巨桉 3 号的材积极显著地高于参试的所有无性系, DH 201-2 巨桉 1 号和 DH 184-1 的材积也均极显著地高于柳窿桉 9 号、赤桉 3 号和赤桉 1 号。从各无性系与地点交互效应的变异性来看, 巨桉 1 号和 DH 184-1 的互作变异系数小, 其次为巨桉 3 号和 DH 201-2 而柳窿桉 9 号、赤桉 3 号和赤桉 1 号的互作变异系数大, 稳定性差, 适应性窄。

在育种试验和生产实际中, 希望所选的品系 (或无性系) 主效应大, 有较高的生产能力, 同时还希望这些品系与环境的交互效应小, 稳定性好, 对环境有广泛的适应性^[12]。为此, 用无性系 × 地点互作效应的相对变异系数以及基因型主效应值作为多性状综合评价、选择优良无性系以及确定供试无性系适宜种植范围的依据^[13]。

多性状综合评价, 以 P_i 值小为优, 公式^[14]: $P_i = \sqrt{\sum K_j (1 - a_{ij}/a_{0j})^2}$, 式中 P_i 为第 i 个无性系的综合评定值; K_j 为 j 个性状的权重系数, 根据生产实际, 在本研究中, 主效应值是速生性、适应性和抗逆性的综合反映, 其权重系数定为 0.9, 而互作效应变异系数的权重系数定为 0.1; a_{ij} 为第 i 个无性系的第 j 个性状指标数据; a_{0j} 为第 j 个性状指标最优的数据, 其中主效应指标值取参试无性系的最大者, 变异系数取最小值者。经计算, 巨桉 3 号的 P_i 值最小 ($P_i = 0.663$), 其综合性状最优, 而赤桉 1 号的 P_i 值最大 ($P_i = 3.736$), 其综合性状最差。依 P_i 值的大小, 参

试无性系综合性状优劣排序为: 巨桉 3 号 > 巨桉 1 号 > DH 201-2 > DH 184-1 > 柳窿桉 9 号 > 赤桉 3 号 > 赤桉 1 号。

在多性状综合评价的基础上, 以无性系主效应值 ≥ 0 (正效应, 产量大于群体均值) 且无性系 × 地点互作效应的相对变异系数 \leq 总体平均值 ($C. V = 44.485\%$) 为选择优良无性系的入选标准, 选出巨桉 3 号、巨桉 1 号、DH 201-2 和 DH 184-1 为耐寒优良无性系。其中巨桉 3 号生长量高, 速生性、适应性和抗逆性特别是耐寒性强, 稳定性较好, 适应范围广, 尤其适合在南平太平生长。DH 201-2 巨桉 1 号和 DH 184-1 生长量较高, 速生性、适应性和抗逆性较强, 稳定性好, 变异小, 适应范围也广, 其中 DH 201-2 尤其适合在永安生长。这 4 个无性系可在福建中亚热带年均温高于 19 °C 的不同区域选择种植。

4 结论与讨论

(1) 经综合评价, 选出较耐寒较速生且对环境有较广泛的适应性和稳定性的优良无性系巨桉 3 号、DH 201-2 巨桉 1 号和 DH 184-1, 可供福建中亚热带年均温 19 °C 以上的不同区域选择应用。其中, 巨桉 3 号 28 个月生树高、胸径和材积分别可达 6.8~11.8 m, 8.0~11.8 cm 和 0.016~0.064 m³, 能耐 -4~-4.5 °C 的低温; DH 201-2 巨桉 1 号和 DH 184-1 无性系 28 个月生树高、胸径和材积分别可达 6.4~10.9 m, 6.7~10.3 cm 和 0.011~0.042 m³, 能耐 -3.5~-4.0 °C 的低温。此外, 巨桉 3 号和 DH 201-2 可能对立地条件要求相对高些, 在较好的立地条件下更有利于充分发挥其既速生又耐寒的优势, 因此在推广中应根据各地的具体立地条件针对性地加以选择应用。

(2) 柳窿桉 9 号速生性中等, 耐寒性有限, 幼树只可耐 -2.0~-2.5 °C 的低温, 易受冻且受冻后恢复生长较难或恢复不理想。而赤桉 1 号和赤桉 3 号

虽耐寒性强, 能耐 -5°C 的低温, 但速生性差、产量低。而且这 3 个无性系与地点的交互效应的变异性大, 稳定性差, 适应范围窄, 综合性状较差, 作为短周期工业原料林不提倡在该区发展。

(3) 速生性和耐寒性除了与林木本身的遗传特性有关外, 还与海拔、小地形因子、土壤肥力、栽培管理措施以及林木长势等有关, 如本研究中的上杭试验点虽然 2005 年初的低温比永安高, 但受冻程度均比永安严重, 这主要与其立地条件较差、林木长势较弱有关。因此, 中亚热带山地栽培耐寒桉树无性系, 除了考虑选择适宜造林地包括海拔、土壤、小地形等因素外, 还应注意栽培措施的到位。有关耐寒优良桉树无性系适宜种植的海拔高度还有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 黄晖. 我国营造桉树人工林的现状与发展对策 [J]. 广西热带农业, 2004(6): 42~43
- [2] 林睦就, 杨民胜, 李柏海, 等. 湖南耐寒桉树引种试验研究 [J]. 桉树科技, 2003(1): 1~12
- [3] 黄德龙, 黄秀美, 吴载璋, 等. 耐寒桉树树种及种源引种试验 [J].

- 林业科技开发, 2003 17(6): 18~21
- [4] 陈健波, 项东云, 张建明, 等. 广西耐寒桉树育种研究现状与对策 [J]. 广西林业科学, 2003 32(1): 7~11
- [5] 林小凡, 王文辉. 江西桉树冻害的调查研究 [J]. 江西林业科技, 1992(6): 16~22
- [6] 林业寒害联合调查组. 广东省林业寒害情况 [J]. 广东林业科技, 2000(4): 26~33
- [7] DB35/T515-2003 福建省桉树丰产标准 [S]. 福建省标准局发布, 2003
- [8] 唐启义, 冯明光. 实用统计分析及其 DPS 数据处理系统 [M]. 北京: 科学出版社, 2002 256~259
- [9] 廖桂宗, 彭世揆. 试验设计与抽样调查 [M]. 北京: 中国林业出版社, 1993: 154~158
- [10] 王豁然, 柴修武, 郑勇奇, 等. 不同种源巨桉生长与材性变异 [J]. 林业科学研究, 1994, 7(2): 199~202
- [11] 姚庆端, 张金文, 洪长福, 等. 闽南山地桉树纤维材优良无性系的选择研究 [J]. 林业科学, 2003, 39(专): 87~92
- [12] 姚庆端. 桉树优良无性系制浆造纸性能与适应性的研究 [J]. 福建林学院学报, 2004 24(4): 316~322
- [13] 王克胜, 卞学瑜, 李淑梅, 等. 欧美杨无性系区域试验的效应分析与稳定性测定 [J]. 林业科学研究, 1996, 9(1): 92~96
- [14] 陆钊华, 徐建民, 卢国桓, 等. 韦塔桉种源多性状综合评价及育种值的估算 [J]. 林业科学研究, 2004, 17(2): 220~225