

闽西山地耐寒桉属树种/种源引种试验研究

刘 艳^{1,2}, 徐建民^{2*}, 钱国钦³, 吴 炜⁴, 李宝富⁵, 吴世军², 李宝琦²

(1. 漳州鸿伟木业集团有限公司, 福建 漳州 363102; 2. 中国林业科学研究院热带林业研究所, 广州 510520; 3. 福建省林业厅世行办, 福州 350003; 4. 福建永安林业集团股份有限公司, 福建 永安 366000; 5. 福建省林业科学研究院, 福州 350012)

摘要: 对 5.5 年生 21 种耐寒桉树的 53 个种源在闽西山地的保存率和生长性状进行了比较分析。结果表明: 树高、胸径、单株材积和保存率在树种/种源间均存在显著或极显著差异。经聚类分析可将参试树种/种源分为 5 类, 适宜在闽西山地推广种植的树种包括巨桉(*Eucalyptus grandis*)、邓恩桉(*E. dunnii*)、柳桉(*E. saligna*)、边沁桉(*E. benthamii* var. *benthamii*)、道里格白桉(*E. dorrigoensis*)和赤桉(*E. camaldulensis*)等, 其中巨桉的最优种源是来自 Near Coffs Harbour NSW 的 20116 号, 5 年生时材积生长量达 171.03 m³ hm⁻², 邓恩桉的最优种源是来自 NSW 的 20633 号, 5 年生时材积生长量达 158.61 m³ hm⁻², 边沁桉的最优种源是来自 NSW 的 18788 号, 5 年生时材积生长量达 110.96 m³ hm⁻²。原产地海拔对桉树的适应性影响不大, 而降雨的分布类型是引种成功与否的关键性因子, 最优树种/种源是来自南纬 26°~30°澳大利亚昆士兰州南部、新南威尔士和维多利亚北部内陆夏雨型树种/种源, 邓恩桉、巨桉、边沁桉和柳桉可耐 -4~-4.5℃ 的低温, 适宜在闽西山地引种栽培。

关键词: 桉树; 耐寒; 树种/种源; 亚热带; 闽西

中图分类号: S722.7

文献标识码: A

文章编号: 1005-3395(2010)06-0613-08

doi: 10.3969/j.issn.1005-3395.2010.06.004

Studies on Introduction of Cold-tolerant Tree Species/Provenances of *Eucalyptus* to Mountane Region in Western Fujian

LIU Yan^{1,2}, XU Jian-min^{2*}, QIAN Guo-qin³, WU Wei⁴, LI Bao-fu⁵, WU Shi-jun², LI Bao-qi²

(1. Zhangzhou Hongwei Wood Products Co., Ltd, Zhangzhou 363102, China; 2. Research Institute of Tropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Guangzhou 510520, China; 3. Office of World Bank Loan Project, Forestry Department of Fujian, Fuzhou 350003, China; 4. Yong'an Forestry (Fujian) Co., Ltd., Yong'an 366000, China; 5. Fujian Forestry Research Institute, Fuzhou 350012, China)

Abstract: The introduction experiments of 21 cold-tolerant species with 53 provenances of *Eucalyptus* at 5.5-year-old had been carried out, which survival and growth characteristics were studied. The results showed that there were significant differences among species and provenances in plant height, DBH and volume and survival. The tested species/provenances could be divided into five clusters by cluster analysis. The *E. grandis*, *E. dunnii* and *E. benthamii*, derived from Near Coffs Harbour NSW (20116) and NSW (20633 and 18788), respectively, had high volume growth at 5-year-old for 171.03 m³ hm⁻², 158.61 m³ hm⁻² and 110.962 m³ hm⁻², respectively. The original altitude had little effect on growth and adaptability, whereas rainfall pattern was the key factor for introduction. The best species/provenances were introduced from 26°~30°S including southern Queensland, New South Wales and northern Victoria of Australia. *E. dunnii*, *E. grandis*, *E. benthamii* and *E. saligna* could tolerate the low temperature of -4℃~-4.5℃, so that they were suitable for introduction in mountane region of western Fujian.

Key words: *Eucalyptus*; Cold-tolerant; Species/provenance; Subtropical zone; Western Fujian

收稿日期: 2010-04-06

接受日期: 2010-07-07

基金项目: 福建永安林业集团股份有限公司自立研发项目; 国家十一科技支撑专题项目(2006BAD01A15-4)资助

作者简介: 刘艳(1975~), 女, 湖南益阳人, 硕士研究生, 研究方向为树木引种与栽培, email: hwly@zzhw-wood.com

* 通讯作者 Corresponding author, email: jianmxu@163.com

我国桉树引种可以追溯到 19 世纪末,但有规模和系统的研究始于 20 世纪 80 年代初期^[1]。由于其速生、丰产、木材多用途和极强的适应性,桉树已成为我国热带亚热带地区重要的短周期人工林树种^[2]。但在华南北缘和华中冷凉地区,低温冻害是桉树引种、扩大栽培与速生丰产的主要限制因子。将桉树速生丰产栽培区向北推移,开展耐寒桉树引种试验研究,选育速生抗寒的桉树新品种意义重大。近 30 年来在云南、贵州、福建、四川、湖南、江西和广西等省(区)相继开展了亮果桉(*Eucalyptus nitens*)、史密斯桉(*E. smithii*)、多枝桉(*E. viminalis*)、巨桉(*E. grandis*)、邓恩桉(*E. dunnii*)、斑皮桉(*E. maculata*)、边沁桉(*E. benthamii*)、樟脑桉(*E. camphora*)等树种/种源的引种试验和耐寒性研究,并取得了较大进展^[3-8]。

本试验选取的 7 树种:棒萼桉(*E. cladocalyx*)、聚果桉(*E. coccifera*)、冈尼桉(*E. gunnii*)、卡佐菲桉(*E. kartzoffiana*)、道里格白桉(*E. dorrigensis*)、齿叶亮果桉(*E. denticulata*)和山白蜡桉(*E. sieberi*)为首次引入中国,天然分布在澳大利亚的温带地区或高海拔寒冷地区,称之为温带桉树,是极其珍贵的耐寒桉树基因资源,对丰富我国桉树种质资源、开展改良育种和桉树人工林北移都具有十分重要的树木引种学价值和经济意义。棒萼桉天然分布于南澳大利亚州较低的 Eyre 半岛,从 Kangaroo 岛至 Flinders 山脉呈不连续分布,冬雨型,是迄今最为古老的孑遗湿润雨林高大树木,可用于建材、矿柱、枕木、薪材和观赏;聚果桉又称塔斯马尼亚雪桉,天然分布于塔斯马尼亚岛,可达寒冷高地的海拔树木生长线,如 Mt. Wellington 和高原中部,小灌木至中等乔木,冬雨型,多用于环境保护;冈尼桉天然分布于塔斯马尼亚岛的寒冷高地,冬雨型,植株矮小,树冠密集,可作观赏树种;卡佐菲桉天然分布于新南威尔士州南部台地的东侧极狭地段,冬雨型,中大乔木,多用于环境保护;道里格白桉天然分布于新南威尔士州北部台地邻近 Dorrigo 的有限地段,树干通直、中大乔木;齿叶亮果桉天然分布于新南威尔士州东南部边远的 Bombala 南部雨湿润林和维多利亚东部高海拔地区,冬雨型,中大乔木,可用于建筑、地板、细木工板、装饰和家具;山白蜡桉天然分布于新南威尔士南部和维多利亚州东部沿海地区,冬季降雨至夏季降雨型,木材坚硬,广泛用作锯材等^[9]。

本文对引种在福建省永安市的 21 种桉树 53 个种源进行生长性状和耐寒性的比较分析,旨在筛选适宜闽西亚热带山地气候区既耐寒又速生的优良树种/种源,为该地区耐寒桉树选育和速生林建设提供科学依据。

1 试验地概况

试验地位于福建省永安市大湖镇坑源村(48°43'N,117°25'E,海拔 300 m),属中亚热带湿润季风气候区。年均气温 19.1℃,最热月平均气温 28.1℃,极端最低温-7.6℃,最冷月平均气温 8.6℃,极端最高温 40.5℃,≥10℃的年积温为 6052℃。年均日照时数 1859 h,无霜期 295 d,年均降水量 1569 mm,4~9 月雨量约占全年的 68%,为显著夏雨型气候,年均蒸发量 1455 mm,相对湿度 80%。土壤为山地红壤,土层厚度 115 cm,有机质为 65.8 g kg⁻¹,全 N 为 1.750 g kg⁻¹,全 P 为 9.60 g kg⁻¹,速效 K 为 176.57 mg kg⁻¹,速效 P 为 12.45 mg kg⁻¹,pH 值为 5.05。试验地原林下植被以胡枝子(*Lespedeza formosa*)、蕨类等植物为主。

2 材料和方法

试验林于 2003 年 5 月造林,为 21 种桉树的 53 个种源(表 1)。试验采用随机区组设计,4 次重复,45 株为 1 小区,株行距 2 m × 3 m。穴规格为 60 cm × 40 cm × 40 cm,每穴施桉树专用肥 400 g。造林当年和翌年各抚育追肥 1 次。

2008 年 12 月对每木进行胸径、树高调查。树高用瑞典生产的红外线测高仪测量;胸径用胸径围尺测量。

分别于 2003 年 12 月下旬、2005 年 1 月上旬进行寒害调查。寒害指标共分 5 级:0 级:不受害,生长正常;1 级:幼叶和嫩梢轻微受害,过后即恢复生长;2 级:顶叶、顶梢受害;3 级:树冠全枯;4 级:主干 1/2 受冻;5 级:主干全部受冻^[10]。

采用 SAS 软件包对树高(H)、胸径(D)、单株材积(V)和保存率进行方差分析、多重比较、主成分分析和聚类分析。保存率经反正弦转换后再做统计分析。单株材积的计算公式^[11]: $V=H \times D_{1.3m}^2 / 30000$

方差分析模型^[12]为: $y_{ij}=\mu+\alpha_i+\beta_i+\delta+\varepsilon_{ij}$

式中: y_{ij} 为性状观察值; μ 为总体平均值; α_i 为重复效应值; β_i 为树种内种源效应; δ 为树种效应; ε_{ij} 为误差。

表 1 参试树种/种源原产地基本情况
Table 1 Origin of *Eucalyptus* species/provenances

编号	树种	种批号	种源地	纬度(S)	经度(E)	海拔
No.	Species	Seed lot No.	Origin	Latitude	Longitude	Altitude (m)
1	赤桉 <i>E. camaldulensis</i>	20438	NSW	34°07′	141°55′	50
2	赤桉 <i>E. camaldulensis</i>	19709	VIC	37°02′	141°43′	150
3	赤桉 <i>E. camaldulensis</i>	19708	VIC	35°45′	142°58′	150
4	毛皮桉 <i>E. macarthurii</i>	18322	NSW	34°39′	150°07′	580
5	毛皮桉 <i>E. macarthurii</i>	18321	NSW	34°38′	150°23′	500
6	毛皮桉 <i>E. macarthurii</i>	18838	NSW	34°36′	150°11′	570
7	毛皮桉 <i>E. macarthurii</i>	18839	NSW	34°39′	150°11′	580
8	毛皮桉 <i>E. macarthurii</i>	17810	SAFR	29°36′	130°24′	0
9	王桉 <i>E. regnans</i> *	16867	VIC	38°35′	146°30′	480
10	边沁桉 <i>E. benthamii</i>	19282	NSW	33°49′	150°23′	140
11	边沁桉 <i>E. benthamii</i>	18788	NSW	33°49′	150°23′	140
12	棒萼桉 <i>E. cladocalyx</i> *	20388	Wilmington	32°43′	138°06′	580
13	卡佐菲桉 <i>E. kartzoffiana</i>	18360	NSW	25°26′	149°48′	580
14	道里格白桉 <i>E. dorrigoensis</i>	18763	NSW	30°05′	152°39′	580
15	道里格白桉 <i>E. dorrigoensis</i>	19668	NSW	30°05′	152°08′	1000
16	道里格白桉 <i>E. dorrigoensis</i>	19808	NSW	25°58′	152°15′	560
17	樟脑桉 <i>E. camphora</i>	18323	NSW	32°47′	152°14′	720
18	亮果桉 <i>E. nitens</i>	18164	Tallaganda SF NSW	35°59′	149°30′	1100
19	亮果桉 <i>E. nitens</i>	20395	NSW	30°29′	152°24′	1500
20	巨桉 <i>E. grandis</i>	20261	VIC	34°17′	142°05′	0
21	巨桉 <i>E. grandis</i>	20116	Near Coffs Harbour	30°15′	153°00′	150
22	巨桉 <i>E. grandis</i>	19971	Wondecl Asatherton QLD	17°25′	145°26′	925
23	巨桉 <i>E. grandis</i>	18139	NSW	29°22′	150°15′	160
24	巨桉 <i>E. grandis</i>	18146	NSW	30°08′	153°07′	100
25	柳桉 <i>E. saligna</i>	19667	NSW	30°05′	152°08′	1000
26	柳桉 <i>E. saligna</i>	19106	NSW	28°28′	152°33′	420
27	柳桉 <i>E. saligna</i>	19453	NSW	30°37′	152°10′	975
28	柳桉 <i>E. saligna</i>	18162	QLD	26°52′	152°42′	400
29	柳桉 <i>E. saligna</i>	18988	NSW	28°37′	152°28′	500
30	邓恩桉 <i>E. dunnii</i>	18264	NSW	28°37′	152°28′	500
31	邓恩桉 <i>E. dunnii</i>	15956	NSW	28°25′	152°20′	650
32	邓恩桉 <i>E. dunnii</i>	18263	NSW	28°35′	152°29′	580
33	邓恩桉 <i>E. dunnii</i>	20632	NSW	28°40′	152°28′	650
34	邓恩桉 <i>E. dunnii</i>	20633	NSW	28°17′	152°28′	625
35	聚果桉 <i>E. coccifera</i>	01193	NSW	30°18′	150°21′	525
36	聚果桉 <i>E. coccifera</i>	00123	NSW	32°03′	152°28′	425
37	亮果桉 <i>E. nitens</i>	02038	NSW	32°57′	153°05′	325
38	蓝桉 <i>E. globulus</i>	02102	TAS	41°07′	147°18′	625
39	蓝桉 <i>E. globulus</i>	00314	TAS	42°21′	148°09′	545
40	蓝桉 <i>E. globulus</i> *	02342	TAS	43°17′	146°06′	755
41	蓝桉 <i>E. globulus</i>	02209	TAS	42°37′	147°20′	685
42	蓝桉 <i>E. globulus</i>	19454	Wog Wayrd Bondl SF	37°11′	149°28′	480
43	蓝桉 <i>E. globulus</i>	20230	Bolaro Min	35°40′	150°02′	380
44	山桉 <i>E. dabrympleana</i>	00949	TAS	43°11′	147°39′	635
45	冈尼桉 <i>E. gunnii</i> *	00294	TAS	41°37′	145°28′	755
46	多枝桉 <i>E. viminalis</i>	00223	TAS	42°41′	148°11′	885
47	山白蜡桉 <i>E. sieberi</i> *	00289	TAS	42°27′	147°12′	590
48	山白蜡桉 <i>E. sieberi</i> *	00903	TAS	42°31′	148°06′	705
49	山灰桉 <i>E. cypellocarpa</i> *	20103	Monga SF	35°33′	149°54′	750
50	山灰桉 <i>E. cypellocarpa</i>	19798	Nullo SF Nullo Mtrd	32°45′	150°12′	1000
51	齿叶亮果桉 <i>E. denticulata</i>	16749	NSW	32°17′	156°05′	625
52	史密斯桉 <i>E. smithii</i>	19819	NSW	34°44′	150°10′	600
53	赤桉 <i>E. camaldulensis</i>	20437	VIC	35°50′	145°07′	100

* : 5.5 年时已全部死亡。The provenances were dead at the age of 5.5 years. NSW: New South Wales; VIC: Victoria; SAFR: South Australia; QLD: Queensland; TAS: Tasmania.

对各性状的相关矩阵进行正交变换,计算出特征根 λ_i 、特征向量 L_j ,计算标准化主成分得分值 $W(i,j)$,根据主成分值进行最短距离法聚类分析^[13]。

$$W(i,j)=\frac{Z(i,j)}{\sqrt{n}}$$

3 结果和分析

3.1 树种/种源的性状差异

造林后,王桉 16867 种源、棒萼桉 20388 种源、蓝桉 02342 种源、冈尼桉 00294 种源、山白蜡桉 00289、00903 种源和山灰桉 20103 种源等 7 种源表现出对当地生态环境的不适应,至 5.5 年时已全部死亡,以下分析剔除这 7 种源进行方差分析和多重

比较。

性状的方差分析(表 2)表明:5.5 年生时不同树种/种源的树高、胸径、单株材积和保存率均存在显著或极显著差异。树高和保存率在区组间差异极显著,胸径在区组间差异显著,单株材积、胸径在区组间差异不显著。表明树高和保存率易受环境影响,胸径和单株材积生长则较为稳定。

5.5 年生时的树种/种源性状变异分析(表 3)表明:树高、胸径、单株材积、保存率的最大值分别达到 15.96 m、15.26 cm、0.1266 m³、93.33%,最小值分别为 6.28 m、7.19 cm、0.0067 m³、8.00%,变异系数分别为 27.79%、21.06%、62.84%、36.62%,以单株材积的变异系数较大。

表 2 5.5 年生的树种/种源性状方差分析

Table 2 Trait variance analysis on different species/provenances at the age of 5.5-year

变量 Variance	DF	树高 Height		胸径 DBH		单株材积 Volume		保存率 Survival	
		F	Pr > F	F	Pr > F	F	Pr > F	F	Pr > F
树种 Species	16	9.64	< 0.0001	6.51	< 0.0001	6.67	< 0.0001	5.56	< 0.0001
种源间 Provenances	45	4.21	< 0.0001	2.78	< 0.0001	2.65	< 0.0001	9.86	< 0.0001
区组间 Blocks	3	7.25	0.0002	2.84	0.0410	0.24	0.8673	8.29	< 0.0001
误差 Error	2160								

表 3 5.5 年生树种/种源的性状变异分析

Table 3 Trait variation analysis on different species/ provenances at the age of 5.5-year

性状 Character	最大值 Max.	最小值 Min.	标准差 Standard deviation	平均值 Average	变异系数 CV (%)
树高 Height (m)	15.96	6.28	3.16	11.36	27.79
胸径 DBH (cm)	15.26	7.19	2.32	11.04	21.06
单株材积 Volume per plant (m ³)	0.1266	0.0067	0.0329	0.0523	62.84
保存率 Survival (%)	93.33	8.00	21.35	58.30	36.62

对现存 17 树种 46 个种源的性状进行排序和多重比较(表 4),结果表明:共有 21 个种源的单株材积超过总体平均值,生长最快的是巨桉 20116 种源,其单株材积、树高、胸径和保存率分别为 0.1266 m³、15.53 m、15.26 cm 和 81.33%,分别是毛皮桉 18321 种源的 981.40%、247.69%、212.24%和 117.31%,是无性系总体均值的 213.13%、136.59%、134.33%和 127.12%。经排序,生长量位于前五位的有巨桉 20116、齿叶亮果桉 16749、邓恩桉 20633、邓恩桉 20632、巨桉 18146,保存率位于前五位的是邓恩桉 15956、柳桉 18988、邓恩桉 20633、巨桉 18146、边沁桉 19282。

生长较快的树种有巨桉、邓恩桉、柳桉、边沁桉和齿叶亮果桉。巨桉的优良种源有 20116、18146、20161 和 19971 号;邓恩桉的有 20632、18263、20633、18264 和 15956 号;柳桉的有 19106、18162 和 18988 号;边沁桉的 18788 号;齿叶亮果桉的

16749 号。生长慢的树种/种源是毛皮桉 18321、18839、18322、17810 和 18838 号种源,卡佐菲桉 18360 号,亮果桉 18164、20395 和 02038 号,赤桉 19709、19708 和 20438 号,蓝桉 00314 号,聚果桉 01193 号,樟脑桉 18323 号和道里格白桉 19808 号。

保存率较高的树种有邓恩桉、蓝桉、巨桉、边沁桉、柳桉、赤桉、毛皮桉、道里格白桉和多枝桉。邓恩桉的优良种源有 15956、20633 和 18263 号;蓝桉的有 02106 号;巨桉的 18146、18139 和 20261 号;边沁桉的 19282 和 18788 号;柳桉的 19453 和 19162 号;赤桉的 20438 号;毛皮桉的 18322 号;道里格白桉的 18763 号;多枝桉的 00223 号。保存率低的有卡佐菲桉 18360 号,道里格白桉 14808 号,蓝桉 02102、19454、02209、00314 和 20230 号,亮果桉 18164、20398 和 20395 号,聚果桉 01193 和 00123 号,柳桉 19106 号,山灰桉 19798 号和齿叶亮果桉 16749 号。

表 4 树种/种源性状的邓肯检验结果(α=0.01)

Table 4 Results of different species/provenances characters by Duncan's multiple range test (α=0.01)

编号 No.	单株材积 Volume (m ³)	多重比较 LSR	编号 No.	树高 Height (m)	多重比较 LSR	编号 No.	胸径 DBH (cm)	多重比较 LSR	编号 No.	保存率 Survival (%)	多重比较 LSR
21	0.1266	A	32	15.98	A	21	15.26	A	31	93.30	A
51	0.1231	A	33	15.93	A	34	14.53	BA	29	88.00	BA
34	0.1094	BA	21	15.53	BA	20	14.37	BA	34	86.67	BAC
33	0.1085	BAC	34	15.53	BA	33	14.33	BA	24	84.00	BDAC
24	0.1056	BAC	51	15.20	BA	24	14.26	BAC	10	84.00	BDAC
20	0.1053	BAC	31	15.18	BA	22	13.84	BDAC	11	82.67	BDAC
32	0.1022	BAC	24	15.18	BA	32	13.84	BDAC	21	81.33	BDAC
22	0.0983	BAC	22	14.90	BAC	30	13.82	BDAC	27	81.33	BDAC
23	0.0923	BAC	20	14.60	BDAC	26	13.78	EBDAC	28	78.67	BDAC
26	0.0901	BAC	23	14.53	EBDAC	23	13.62	EBDAC	32	78.67	BDAC
29	0.0889	BAC	29	14.48	EBDAC	29	13.56	EBDAC	23	76.00	EBDAC
...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
19	0.0237	BC	19	7.53	EDGF	3	9.06	EBDAC	50	50.00	EJIDHGF
1	0.0231	BC	13	7.30	EDGF	2	8.50	EBDC	26	49.78	EJIDHGF
3	0.0225	BC	8	7.18	EDGF	8	8.42	EBDC	39	42.67	EJIDHGF
2	0.0207	BC	2	7.18	EGF	39	8.34	EBDC	41	40.00	JIHGF
8	0.0182	BC	6	7.03	EGF	50	8.29	EBDC	42	35.56	JHKGF
18	0.0174	BC	3	6.98	GF	18	8.00	EBDC	35	3.33	JHK
4	0.0137	C	1	6.40	GF	7	7.70	EDC	18	32.00	JK
7	0.0135	C	7	6.40	GF	13	7.30	ED	38	26.67	JK
13	0.0134	C	4	6.37	G	4	7.26	ED	16	24.89	JK
5	0.0129	C	5	6.27	G	5	7.19	E	13	8.00	K

编号见表 1. No. of species/ provenances see Table 1. 表 5 同 The same as Table 5. 同列不同字母表示差异极显著。The different letters within column mean significant difference.

表 5 参试树种/种源的耐寒性分析

Table 5 Cold-tolerance of different species/provenances

编号 No.	受害等级 Damage degree		编号 No.	受害等级 Damage degree		编号 No.	受害等级 Damage degree	
	2003-12	2005-01		2003-12	2005-01		2003-12	2005-01
1	0	0	19	0	0	37	0	0
2	0	0	20	1.2	0	38	0	0
3	0	0	21	1.2	0.5	39	0	0
4	0	0	22	1.4	0.3	40	0	0
5	0	0	23	1.5	0.6	41	0	0
6	0	0	24	1.5	0.5	42	0	0
7	0	0	25	0.5	0	43	0	0
8	0	0	26	0.5	0	44	1.0	0
9	0.8	0	27	0.7	0	45	0	0
10	0	0	28	1.0	0.6	46	0	0
11	0	0	29	0.8	0	47	0	0
12	1.0	0	30	0	0	48	0	0
13	0	0	31	0	0	49	0	0
14	0	0	32	0	0	50	0	0
15	0	0	33	0	0	51	0	0
16	0	0	34	0	0	52	0	0
17	0	0	35	0	0	53	0	0
18	0	0	36	0	0			

3.2 树种/种源的抗寒性差异

2003 年 12 月和 2005 年 1 月,试验点分别出现了 -4.5°C 和 -4.0°C 的低温霜冻天气,桉树不同树种/种源的耐寒性及对低温的反应不同。由表 5 可知,2003 年 12 月的 -4.5°C 低温天气,造成幼林期的巨桉、柳桉、王桉、山桉和棒萼桉各种源的顶梢和顶部叶片有轻微冻害,平均受害等级为 0.5 ~ 1.5,过后均能恢复生长;其他树种/种源基本上没有受冻,生长正常。然而,随着林木的生长,不同树种/种源的耐寒性大大提高,2005 年 1 月再次出现 -4.0°C 的低温天气时,除巨桉和柳桉个别种源的顶梢轻微受冻,受冻等级约为 0.5 外,其他树种/种源均没有受冻。由此可见,参试树种/种源中除巨桉、柳桉、王桉、山桉和棒萼桉的个别种源在我国中亚热带地区有可能受轻微冻害外,其他的树种/种源受冻几率

较小。结果表明:巨桉、柳桉、王桉、山桉和棒萼桉的个别种源在该地区可耐 $-4.5\sim-4^{\circ}\text{C}$ 的低温,其他树种如邓恩桉、边沁桉和赤桉等可耐 -4.5°C 以下的低温。国外有报道邓恩桉、边沁桉和山桉可耐 $-14\sim-12^{\circ}\text{C}$ 低温。

3.3 树种/种源的聚类分析

以生长指标,保存率和抗寒性为依据,采用最短距离法进行系统聚类分析(图 1)。如果阈值取 0.35,结合多重分析表和聚类树状图,参试树种/种源可分为 5 类。

第 I 类包括 No.10、No.14、No.46、No.15、No.51、No.11、No.51、No.31、No.30、No.32、No.34、No.33:生长较快,未受冻害,保存率高;

第 II 类包括 No.20、No.21、No.22、No.23、No.



图 1 桉树不同树种/种源的聚类树状图
Fig. 1 Dendrogram of different species/provenances of *Eucalyptus*
1 ~ 53 见表 1。From 1 to 53 see Table 1.

24、No.27、No.28、No.29、No.34:生长快,受轻微冻害,保存率较高;

第Ⅲ类包括 No.17、No.43、No.50、No.18、No.35、No.37、No.39、No.41、No.42、No.33、No.38、No.16、No.13、No.26、No.25:生长中等,未受冻害,保存率中等偏下;

第Ⅳ类包括 No.1、No.2、No.3、No.4、No.5、No.6、No.7、No.8、No.19:生长差,未受冻害,保存率中等偏下。

第Ⅴ类包括 No.9、No.12、No.40、No.45、No.47、No.48、No.49:个别受轻微冻害,保存率极低,至5.5年生时已全部死亡。

4 讨论和结论

参试21树种53个种源引种于闽西永安市,造林5.5年的树高、胸径、单株材积和保存率等均存在显著或极显著差异,有4树种7个种源不适应当地的生态环境,全部死亡。多重比较分析表明:巨桉、邓恩桉、边沁桉和道格里白桉的最优种源均来自NSW,分别是20116号、20633号、18788号、18162号和18763号,它们引种5.5年的材积生长量分别达171.03、158.61、110.96、108.95和68.13 m³ hm⁻²。聚类分析结果表明,这些桉树树种/种源可分为5类,适宜在闽西地区推广的树种主要包括巨桉、邓恩桉、柳桉、边沁桉、道里格白桉和赤桉等。巨桉、邓恩桉和边沁桉的所有参试种源在该地区具有较强的适应性和巨大的生长潜力。多枝桉00223号、赤桉20437号和史密斯桉19819号种源的耐寒性和生长稍差。而王桉16867号、棒萼桉20388号、山灰桉20103号、山白蜡桉00289号、00903号、蓝桉02342号和冈尼桉00294号种源引种表现出不适应、且生长极差。可见,适宜闽西北中亚热带及临近区域的既耐寒又速生的桉树是来自澳大利亚东南部内陆的树种/种源,并非来自澳大利亚最南部及塔斯马尼亚岛。

引种树种/种源原产地海拔对树种的适应性影响不大,如巨桉不同种源分布的海拔为0~925 m,柳桉的为400~1000 m,海拔变化较大。本研究结果表明,来自南纬26°~30°澳大利亚昆士兰州南部、新南威尔士和维多利亚北部内陆夏雨型的树种/种源,如巨桉、邓恩桉、边沁桉和柳桉部分种源的保存率和材积生长量均较大,适宜闽西山地亚热带地区引种栽培,其中邓恩桉和边沁桉的耐寒性优

于巨桉和柳桉。而保存率和生长量表现较差的树种/种源均为冬雨型或均匀降雨型,即来自塔斯马尼亚岛、南澳和维多利亚南部的种源,可见,原产地的降雨型是引种树种是否成功的关键因素。同时,引种地永安夏季高温(极端最高温可达40.5℃),也是制约冬雨型或均匀降雨型树种/种源在该地区引种成功的限制性因素之一。

树木引种能否成功主要取决于两方面:一是原产地与引种地的自然条件相似性,二是引进树种的适应性^[14]。来自新南威尔士的树种/种源比维多利亚和塔斯马尼亚岛的适应性强。由于我国南方基本上没有典型的地中海气候(冬雨型)区,也没有降水按季节均匀分配的地区,但有与新南威尔士和昆士兰南部近似的夏雨型气候区,因此这种引种差异有气候的原因,也不排除种内群体间遗传差异的原因^[15-16]。值得注意的是,棒萼桉、山白蜡桉、山灰桉、王桉和冈尼桉等树种引种5.5年已逐渐死亡,这些树种全部来自维多利亚和塔斯马尼亚岛,它们在福建省中亚热带地区引种成功的机率极低。耐寒性分析也表明,受轻微霜冻的树种/种源来自昆士兰州和新南威尔士。这进一步证明来自气候相似地区的种源的适应性强、成活率和保存率往往较高,也表明了气候相似理论在树木引种工作中的实用价值。

本研究的参试树种绝大部分属于双蒴盖亚属(*Symphyomyrtus* Schau),该亚属种类众多,适应性差异较大。而王桉、聚果桉和山白蜡桉属于单蒴盖亚属(*Monocalyptus*),造林后已逐渐死亡,这与Pryor的单蒴盖亚属桉树引种难以成功的观点^[16-17]一致。但南半球少数几个国家如南非和新西兰^[16-17]有引种成功的报道。王豁然等^[18]在云南省楚雄引种了11种单蒴盖亚属树种,结果王桉的生长良好,认为可能是单蒴盖亚属树种的种内生长变异大。

因试验限制,本研究仅对福建省永安一个点的试验进行分析。至于优良树种/种源与立地环境的交互作用,以及耐寒、高产的适生范围还有待于进一步扩大区域性试验。树木的耐寒性除与树种生物学和遗传学特性有关外,还与试验区山地海拔及小地形气候因素有关,至于筛选出的既耐寒又速生的优良树种/种源,是否适宜在海拔山地推广种植还有待于进一步的试验。对引种成功的巨桉、邓恩桉、边沁桉和柳桉进行以种源/家系为主的全分

布区种质资源的收集,进一步利用它们的种内遗传变异,为种源、家系和优良单株的选育和遗传改良研究提供基因资源。

致谢 感谢鸿伟木业集团公司造林部黄联河、黄必成等同事对本研究野外调查给予的支持,在此表示感谢。

参考文献

[1] 祁述雄. 中国引种桉树与发展现状 [J]. 广西林业科学, 2006, 35 (4): 250–252.

[2] 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.

[3] 郑勇奇, 王豁然, 张荣贵, 等. 史密斯桉等 23 种桉树引种试验研究 [C]// 洪菊生, 王豁然. 澳大利亚阔叶树研究. 北京: 中国林业出版社, 1993: 100–109.

[4] Tang Y H(汤兆华), Li Z H(李志辉). Early selection in cold-resistant *Eucalyptus* I. Researching summaries on early selection in cold-resistant *Eucalyptus* [J]. J CS For Univ(中南林学院学报), 2000, 20(3): 70–73.(in Chinese)

[5] Qian G C(钱国财), Yang R B(杨仁标), Huang R K(黄日奎), et al. A preliminary report on the cold-resistance experiment of 10 species 26 species lot numbers of *E. nitens*, etc [J]. J Fujian For Sci Techn (福建林业科技), 2001, 21(3): 21–25.(in Chinese)

[6] Yang Y Z(仰永忠), Gu F(谷凤), Wang T(汪天), et al. Introduction and experiment of cold-resistance of *Eucalyptus* in Hefei City [J]. J Anhui Agri Univ(安徽农业大学学报), 2006, 33 (4): 477–479.(in Chinese)

[7] Li S H(李淑芳), Wu Q R(吴清荣), Wu J L(吴俊亮), et al. Study on early selection of introduced eucalypts from growth amount [J]. Eucalpy Sci Techn(桉树科技), 2006, 23(1): 20–23.(in Chinese)

[8] Li Z H(李志辉), Yang M S(杨民胜), Chen S X(陈少雄), et al. Study on regionalization for *Eucalyptus* introduction cultural area in China [J]. J CS For Univ(中南林学院学报), 2000, 20(3): 1–10.(in Chinese)

[9] 杰科布斯 M R. 桉树栽培 [M]. 罗马: 联合国粮食及农业组织, 1979: 605–606.

[10] Zeng L H(曾令海), Wang H F(王洪峰), Fan J X(范军祥), et al. Survey reports on cold damage to forestry in Guangdong in the end of 1999 [J]. Guangdong For Sci Techn(广东林业科技), 2000, 16(4): 26–33.(in Chinese)

[11] Mckenney D W, Davis J S, Turnbull J W, et al. The Impact of Australian Tree Species Research in China Vol. 12 [C]. Canberra: ACIAR Economic Assessment Series, 1991: 6–7.

[12] 梁一池. 林木育种原理与方法 [M]. 厦门: 厦门大学出版社, 1997: 274–276.

[13] 黄少伟, 谢维辉. 实用 SAS 编程与林业试验数据分析 [M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2001: 182–184.

[14] 沈熙环. 林木育种学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2003: 1–13.

[15] Wang H R(王豁然), Zheng Y Q(郑勇奇), Yan H(阎洪), et al. Introduction and provenance trial of *Eucalyptus nitens* and its potential in plantation forestry in China [J]. Sci Silv Sin(林业科学), 1993, 29(4): 366–372.(in Chinese)

[16] Poynton R J. Tree planting in Southern Africa [M]// The Eucalypts Vol. 2. Pretoria, SA: Department of Forestry, 1979: 1–882.

[17] Wilcox M D A. Catalogue of the *Eucalyptus* [M]. Auckland: Groome Poyry Ltd, 1997: 1–114.

[18] Wang H R(王豁然), Zheng Y Q(郑勇奇), Yan H(阎洪), et al. Species introduction of *Monocalyptus* to southwestern China and its biogeography implications [J]. Sci Silv Sin(林业科学), 1999, 35 (2): 5–9.(in Chinese)